



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**SIMULAČNÍ STUDIE ROBOTICKÉ LINKY PRO OBSLUHU
OBRÁBĚCÍHO STROJE PRO VELKOSÉRIOVOU VÝROBU**

A SIMULATION STUDY OF A ROBOTIC CELL FOR PRODUCTION MACHINE OPERATION FOR LARGE-
SCALE PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Šváček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jiří Šváček**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Simulační studie robotické linky pro obsluhu obráběcího stroje pro velkosériovou výrobu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro výrobu komponent (objektů) na obráběcím stroji. Roboticky bude řešena manipulace s polotovary (bin-picking) a hotovými díly včetně následného odjehlení dílčích hran na externích nástrojích. Práce se bude věnovat sestavením simulační studie robotické výrobní linky v SW Siemens Process Simulate: výběr hlavních komponent a jejich umístění – návrh layoutu pracoviště, návrh koncových efektorů/upínacích přípravků, řešení bezpečnosti obsluhy. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Systémový rozbor zadané problematiky.
Návrh koncepce automatizace pracoviště pro zadaný typ aplikace.
Návrh dílčích systémů (koncové efekторы, přípravky, oplocení apod.).
Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti/ochrany obsluhy.
Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemens Process Simulate.
Technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší návrh robotického pracoviště pro obsluhu CNC obráběcího stroje. Při obrábění je nečinný robot využit k odjehlení určených hran za pomoci pneumatických vřeten osazenými frézami. Práce obsahuje návrh koncových efektorů pro vykonání manipulačních a odjehlovacích operací. Dále návrh jednotlivých stanovišť a jejich rozložení v buňce. Řešena je i bezpečnost robotické buňky. Práce obsahuje nejen návrh, ale i ověření taktu robotu, který musí splnit obsluhu CNC stroje a odjehlení obrobků. Takt je zjištěn vytvořením simulačního modelu v programu Tecnomatix Process Simulate. Jako poslední je v práci řešeno technicko-ekonomické zhodnocení.

ABSTRACT

The thesis deals with design of robotic cell for operation with CNC machine. When CNC machine is machining, inactive robot is used for deburring specific edges on the workpiece with help of pneumatic spindles. Thesis include design of end-effectors for handling and deburring operations, design and placement of individual parts of robotic cell. Part of the thesis deals with safety of the cell. Next part of thesis is focus on finding out cycle time of the robot. Robot have to manage cooperate with CNC machine and deburr edges in time. Cycle time is find out at simulation study in software called Tecnomatix Process Simulate. On the end of thesis is technical-economics evaluation

KLÍČOVÁ SLOVA

návrh robotické buňky pro obsluhu CNC stroje, odjehlování součástí robotem, robotická simulace v Tecnomatix Process Simulate

KEYWORDS

design of robotic cell for operation with CNC machine, deburring workpieces with robot, robotic simulation in Tecnomatix Process Simulate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVÁČEK, Jiří. *Simulační studie robotické linky pro obsluhu obráběcího stroje pro velkosériovou výrobu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124507>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Alešovi Pochylému za jeho čas, cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....
Šváček Jiří

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	KONCOVÉ EFEKTORY A UCHOPOVAČE	17
2.1	Základní rozdělení [2]	17
2.2	Technologické efekторы	17
2.3	Manipulační efekторы	18
2.3.1	Mechanické	18
2.3.2	Magnetické	21
2.3.3	Podtlakové	23
2.3.4	Speciální	24
3	ZADÁNÍ	27
4	NÁVRH ROZLOŽENÍ BUŇKY	29
4.1	První varianta	29
4.2	Druhá varianta	30
4.3	Třetí varianta	30
4.4	Výběr varianty	31
5	EFEKTORY	33
5.1	Efektor pro odebrání polotovaru z bedny	33
5.2	Efektor pro odebrání prokladu	35
5.3	Efektor pro výměnu součástí	37
5.4	Efektor na odjehlení	38
5.5	Systém rychlé výměny	38
6	DÍLČÍ ČÁSTI BUŇKY	41
6.1	Vstup materiálu	41
6.2	Překládací místo polotovarů	41
6.3	Odkládací stojan efektorů	43
6.4	Odkládací stojan obrobků	44
6.5	Odjehlovací stanoviště	44
6.6	Výstupní palety	47
6.7	Výběr robotu	48
7	BEZPEČNOST ROBOTICKÉ BUŇKY	51
7.1	Blokový diagram	51
7.2	Relevantní nebezpečí	51
7.3	Analýza významných nebezpečí	52
7.4	Bezpečnostní prvky	55
7.4.1	Ochranné oplocení	55
7.4.2	Vstup do buňky	55
7.4.3	Ovládání buňky	56
8	SIMULACE	57
8.1	Vytvoření trajektorie	57
8.2	Výsledky simulace	60
9	TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	61
9.1	Stávající situace	61
9.2	Cena nového řešení	61
9.3	Výpočet návratnosti	63

10 ZÁVĚR.....	65
11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	69
12.1 Seznam tabulek.....	69
12.2 Seznam obrázků.....	69
13 SEZNAM PŘÍLOH.....	71

1 ÚVOD

S rostoucí poptávkou v průmyslu po snížení pořizovacích nákladů, časů operací a procesů, provozních a mzdových nákladů. Díky vývoji počítačové techniky je kladeno na zjištění a snížení parametrů jak během výroby (realizaci) tak při užívání. To je docíleno s pomocí různých monitorovacích tak i testovacích a simulačních softwarů.

Tato práce je zaměřena na návrh robotického pracoviště k CNC obráběcímu stroji pro jeho obsluhu. Vstupem do buňky jsou polotovary dovezeny na paletě. Robot zajišťuje obsluhu stroje, tak i odjehlení zadaných hran obrobku a očištění součástí. Výstupem z buňky jsou očištěné obrobky naskládány na paletě.

První část diplomové práce se zaměřuje na rozmístění jednotlivých prvků v buňce tzv. layout. Je navrženo několik variant a dle navržených kritérií je vybrán nejvhodnější koncept. Z konceptu jsou pak dále rozpracovány jednotlivé prvky v buňce. Jedná se především o koncové efektory, návrh průmyslového robotu, dílčí stanoviště a ochrana obsluhy.

V další části je řešena samotná simulace v programu Tecnomatix Process Simulate. V rámci tohoto softwaru jsou ověřeny dosah a kolize robotu. Dále je navržena trajektorie jak manipulačních tak odjehlovacích operací robotem a za pomoci RCS kontroléru je ověřen jeho takt. A lze potvrdit, že navržené robotické pracoviště je schopno obsluhovat CNC stroj a odjehlovat součásti.

V rámci práce je řešena kromě technické části i ekonomická část. Jelikož zadání je navrženo jako úplně nový koncept, je počítáno, že nahrazuje již fungující pracoviště, kde se střídá jako obsluha 7 pracovníků. Díky tomu je získána i finanční stránka celého návrhu a v rámci porovnání fungujícího pracoviště je spočítána návratnost.

2 KONCOVÉ EFEKTORY A UCHOPOVAČE

Je zařízení připojené na přírubu robotu. Navrženo a použito jako aktivní část robotu, která působí na okolní prostředí. [1]

2.1 Základní rozdělení [2]

- technologické
 - a) svařovací
 - b) stříkací a nátěrové
 - c) obráběcí
 - d) kontrolní operace
 - e) montážní
- manipulační
 - a) mechanické -pasivní – pevné a stavitelné opěry, pružné a odpružené čelisti
-aktivní – s hydromotorem, pneumotorem, el. magnetem, elektromotor
 - b) magnetické -pasivní – permanentní magnety
-aktivní – elektromagnety
 - c) podtlakové -pasivní – deformační přísavky
-aktivní – s vývěvou, ejektorem
 - d) speciální
- kombinované – většinou kombinace úchopných a technologických hlavic
- speciální – pro nepravidelné tvary těles

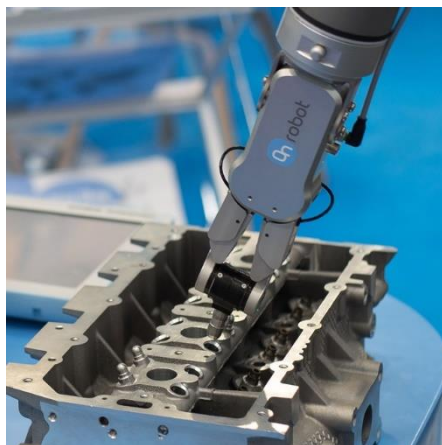
2.2 Technologické efekторы

Rozšířenou technologickou operací průmyslových robotů je svařování (obr. 1). Spolu s aplikací nátěrových hmot se používá ve velké míře v automobilním průmyslu. Při těchto operacích je většinou člověk úplně nahrazen a nezasahuje do procesu.



Obr. 1) Svařovací hlavice [3]

V dnešní době se osazují CNC obráběcí stroje místo obsluhy průmyslovými roboty. Navíc se zvyšuje podpora CAM softwaru pro roboty, popřípadě programu na off-line programování, kdy se zde jednoduše programují složité kontury. Roboty zde slouží nejen k výměně obrobků, ale i k ojehlení hran. V praxi to funguje tak, že CNC stroj obrábí a průmyslový robot odjehluje (obr. 2). Pokud se blíží konec obrábění, robot si připraví polotovar na výměnu. Tím dochází k snížení celkového času.



Obr. 2) Odjehlovací hlavice [4]

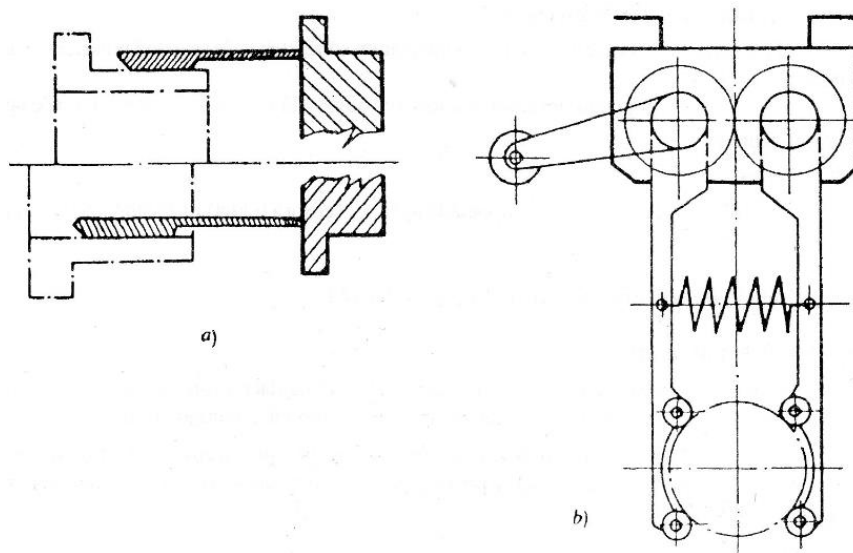
2.3 Manipulační efekторы

Slouží k uchopení objektu a jejich přemístění na další stanoviště popřípadě paletu. Dle typu styku dotyku je můžeme rozdělovat [5]:

2.3.1 Mechanické

Pasivní úchop

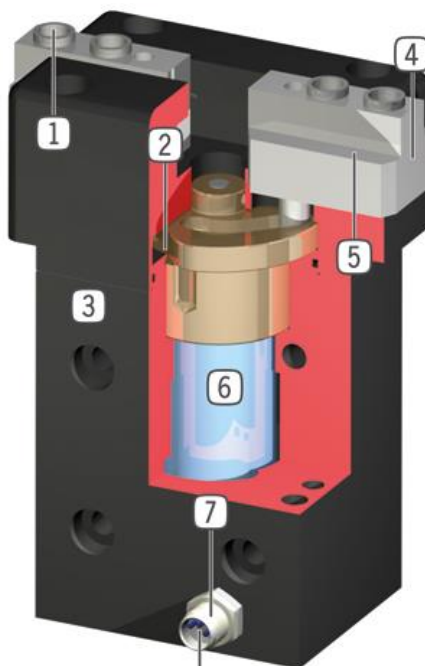
Pro nabrání a uvolnění součásti musí využít externích dorazů a opěr nejrůznějších tvarů. Jako nejjednodušší pasivní prvky lze řadit prizmatická lůžka a podpěry, které slouží k podebrání, přenesení a následnému odložení manipulovaného dílu. Také lze využít konstrukcí s pružnými nebo odpruženými čelistmi [2].



Obr. 3) Pasivní mechanické efekторы: a) s pružnými čelistmi, b) s odpruženými č. [2]

Aktivní úchop

Pro vyvození uchopovací síly je nejčastěji použito pneumatických válců. Pokud potřebujeme vyvinout větší síly, jsou využívány hydraulické válce. V neposlední řadě se používají i elektrické motory/serva (obr. 4, pozice 6), které jsou v dnešní době vybaveny snímači polohy a proudu a tak jsou schopny jak polohovat jednotlivé čelisti tak i nastavit popřípadě omezit sílu úchopu, aby nedošlo například k poškození křehkých nebo tenkostěnných dílů [6].

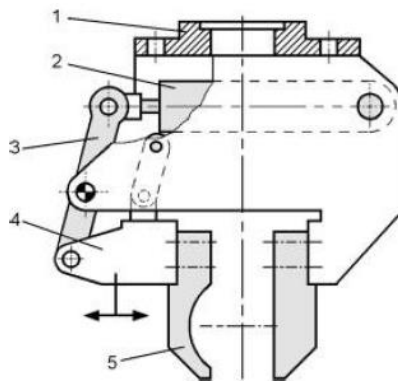


Obr. 4) Dvoučelistové elektrické chapadlo Zimmer group GEP 1400 [7]

Pro běžné manipulace s objekty se nejvíce uplatňují chapadla se dvěma aktivními prvky. V základě se liší dle používaného pohonu, počtu čelistí (2, 3, 4, 6 čelistí) a způsobu pohybu čelisti (otočné, posuvné). Vzhledem k velkému počtu a různorodosti řešení, jde najít spoustu typů mechanických efektorů. Několik typů bude dále zmíněno. [2].

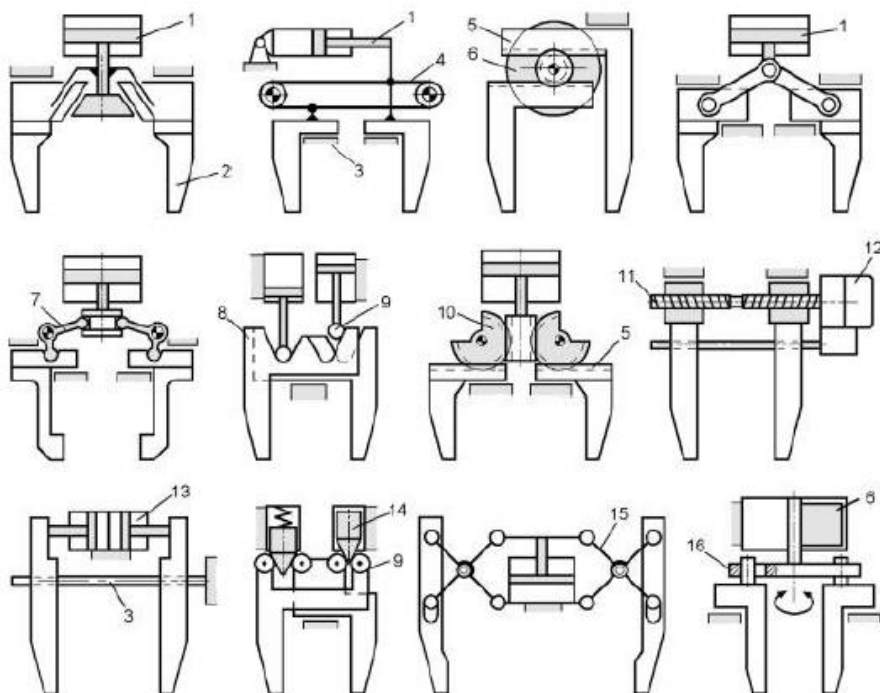
Dvoučelistové paralelní chapadlo

U tohoto typu bývá obvyklý pohon obou čelistí. Ale existují verze (viz obr. 5), kdy je poháněna pouze jedna čelist. Funkce je podobná dílenskému svěráku.



Obr. 5) Gripper s jednou pevnou a druhou pohyblivou čelistí [8]
1-příruba, 2-pneumatický válec, 3-páka, 4-spojovací člen, 5-pohyblivá čelist

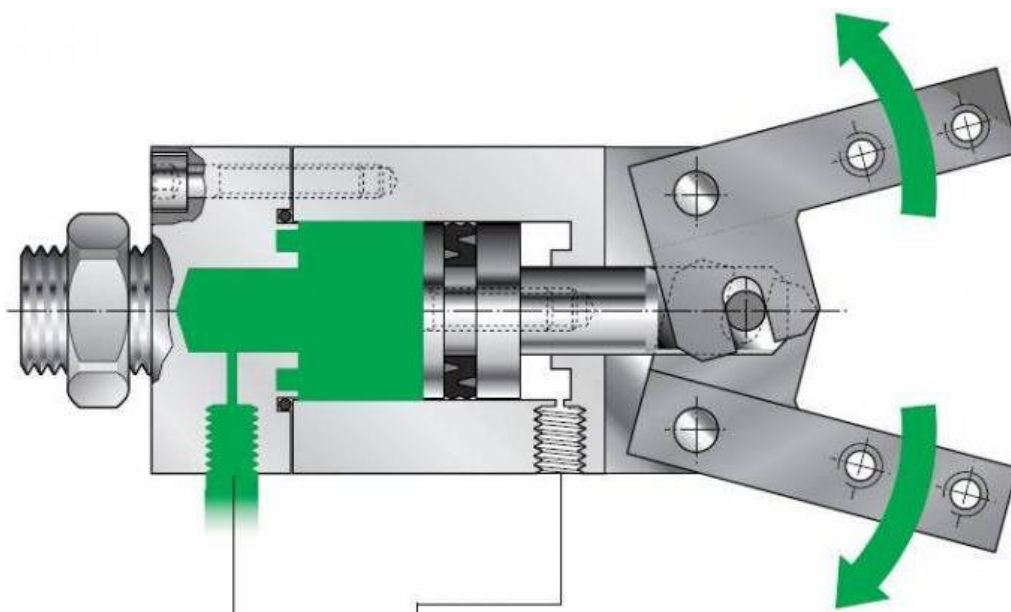
Díky velkému výběru pohybových částí (motorů a převodů) je možno vytvořit lineární pohyb čelistí více možnostmi. Pohyb čelistí je většinou synchronizován. [8]



Obr. 6) Přehled běžně používaných pohybových ustrojí paralelních griperů [8]

Dvoučelistové pákové chapadlo

Tento typ se vyznačuje pohybem čelistí po kružnici. Díky natáčení čelistí je schopno dosahovat relativně vysokých zdvihů a tím pádem lze uchopovat velké rozsahy objektů. Výhodou tohoto typu gripperů je jednoduchá mechanika a tím souvisí i levná výroba a velká spolehlivost. Nevýhodou je, že při určitých polohách čelistí dochází k bodovému styku.



Obr. 7) Pákové chapadlo (upraveno) [9]

Centrické chapadla

Centrické známé taky jako radiální. Jsou většinou tříčelist'ové chapadla schopné vycentrovat uchopované součásti okolo osy gripperu. Jsou běžně používány na manipulaci, jako je překládání s válcovými obrobky popřípadě výměna polotovarů ve stroji. Čelisti se mohou pohybovat buď, lineárně nebo po kružnici.

Zajímavým řešením jsou uchopovače od výrobce GMG. Jejich modulární chapadla, která mohou mít od dvou do šesti čelistí. Jde u nich nastavit chod čelistí jak paralelní tak výkyvný. Dosahují relativně vysokých zdvihů. Vhodné pro manipulaci válcových součástí větších průměru (např. disk od auta).

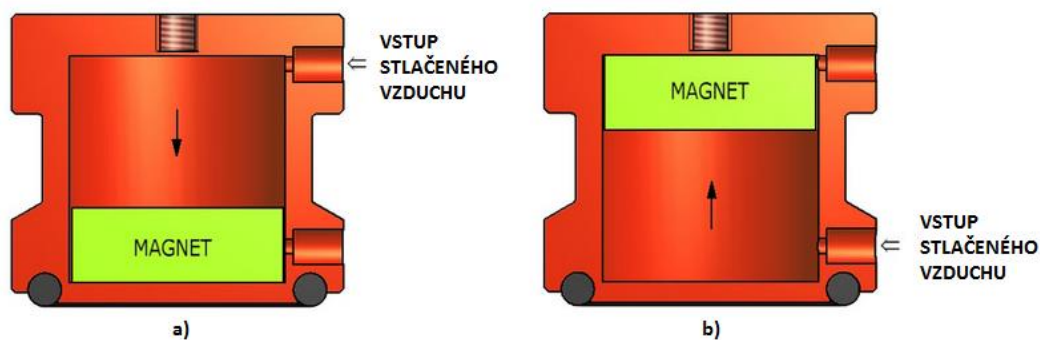


Obr. 8) Chapadlo centrické od fy GMG [10]

2.3.2 Magnetické

Pasivní úchop

Je jednoduše použít permanentní magnet pro vyvolání uchopovací. Při uchopování objektů není tento typ nijak zvláštní než ostatní typy gripperů. Po následném přesunu máme několik možností odejmutí součásti. Jednou z nich je natočení magnetu o devadesát stupňů. Čímž vznikne slabší síla uchycení. A zadaná součást je uvolněna. Podobnou možností je místo otočení magnetu vzdálení od uchopené součásti jak je možno vidět na obr. 9. [8]



Obr. 9) Gripper s permanentním magnetem ovládaný pneumaticky, a) poloha magnetu při uchopení, b) poloha magnetu při uvolnění součásti (upraveno) [11]

Aktivní úchop

Mimo permanentních magnetů lze magnetické pole generovat pomocí elektrické energie. Většinou se používá cívka (může být jich i více), kterou prochází většinou stejnosměrný proud. Díky tomu vzniká uchopovací síla. Uchopení funguje na stejném principu jako u magnetů. Stačí přivést el. proud do cívky a součástka se přichytí k efektoru. Při odejmutí součástky stačí odpojit zdroj energie od elektromagnetu. Občas se stane, že součást zůstává zmagnetizována. Tento problém se řeší puštěním protiproud do cívky [2].

Výhody obou možností je jednoduchý návrh pro různorodé typy uchopovaných objektů. Uchopení je rychlé. Součásti s otvory nevadí. A nespornou výhodou je zde minimální údržba. Jako jedna z největších nevýhod se dá uvažovat, že toto řešení lze použít pouze pro feromagnetické materiály. Pokud manipulujeme u strojů, kde vznikají ořepy popřípadě třísky a mohou se zachytávat na magnety [12].

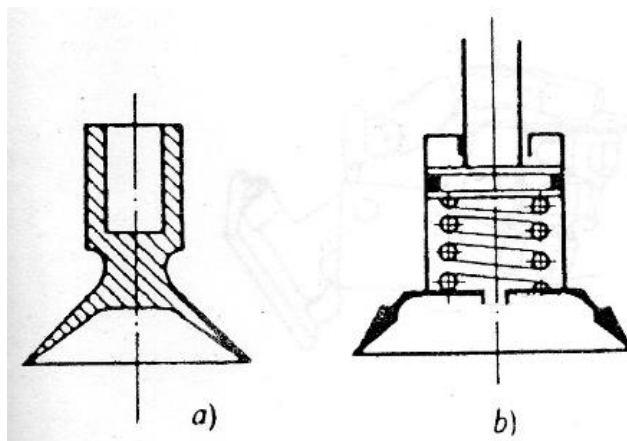


Obr. 10) Robot s elektromagnetickým uchopovačem [13]

2.3.3 Podtlakové

Pasivní úchop

Využívá se zde deformace přísavky. Manipuluje se většinou s díly deskového typu různých rozměrů. Vyvolání podtlaku funguje tak, že přísavka se dotkne přenášeného objektu a stlačí se k jeho povrchu. Tím se zmenší objem přísavky a přebytečný vzduch se vytlačí ven. Při následném zvednutí břemene dojde k zvětšení objemu přísavky. A to způsobí vznik podtlaku uvnitř přísavky a tím pádem dojde k uchopení součásti. Z principu vyplývá potřeby vysoké těsnosti mezi součástí a přísavkou. Pokud použijeme viskózní látky, můžeme zajistit větší těsnost spoje. Pokud chceme zvedat těžší břemena, použijeme tužší přísavky [2].



Obr. 11) Základní provedení deformačních přísavek: a) pryžová deformační přísavka s uchycením na čep, b) přísavka s odpruženým pístem [2]

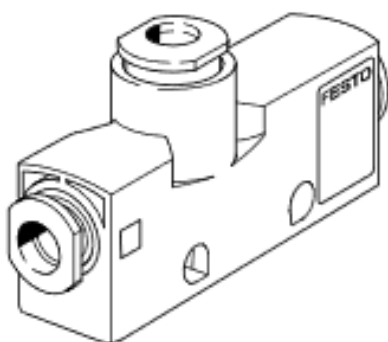
Jako pasivní systém lze považovat i vakuové samopřísavné manipulátory. Funguje na principu centrálního válce a několik přísavek. Pístní tyč je připojena k upínacímu oku. Všechny přísavky jsou připojeny do válce. Při zvedání břemene (většinou plechů) zvedáme za oko. Pístní tyč uvnitř válce se po tom při zvedání vysouvá a pod pístem vzniká podtlak. Díky tomu se uchopovaný předmět přichytí. Na průmyslových robotech se nicméně nepoužívají.



Obr. 12) Vakuový samopřísavný manipulátor [14]

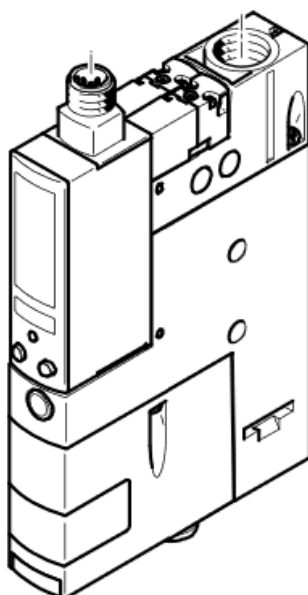
Aktivní úchop

Pro vyvolání podtlaku mohou být použity vývěvy či ejektory. Při použití vývěv se na vedení připojuje i více přísavek. Velikost je dána počtem a velikostí podtlakových komor a samotným typem. Pro průmysl používáme hluboké vakuum (méně než 60 kPa). U ejektorů můžeme použít zapojení několika přísavek nebo pro jeden ejektor jednu přísavku. Toto řešení je ale neekonomické z důvodu větší spotřeby stlačeného vzduchu. Ejektory mají obecně nižší pořizovací cenu než vývěvy [2].



Obr. 13) Základní typ ejektoru od výrobce Festo [15]

V dnešní době snižování provozních nákladů se zavádí chytré ejektory. Po vytvoření dostatečného podtlaku se přívod stlačeného vzduchu zastaví. Tento způsob šetří spotřebu vzduchu a tím pádem i provozní náklady. Pokud dojde k poklesu vakua pod určitou mez, automaticky se ejektor znovu zapne. Samozřejmě je tento typ dražší a rozměrnější než obyčejný ejektor.



Obr. 14) Vakuový ejektor OVEM společnosti Festo (upraveno) [16]

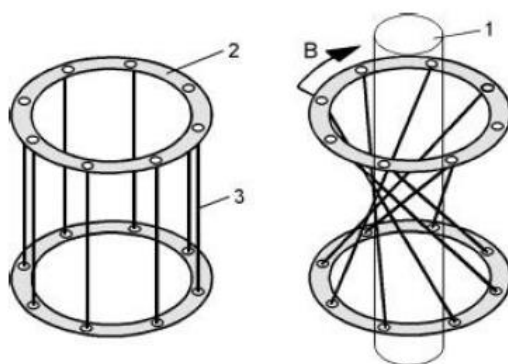
2.3.4 Speciální

Kromě klasicky se vyskytujících chapadel lze občas vidět i speciálně vyvinuté, na určitou funkci. Mohou to být speciální uchopovací efekторы na manipulaci s křehkými objekty (baňky,

sklenice). Fungují na podobné principu jako klasické chapadla. Jsou schopny částečně nebo i celkově obepnout objekt.

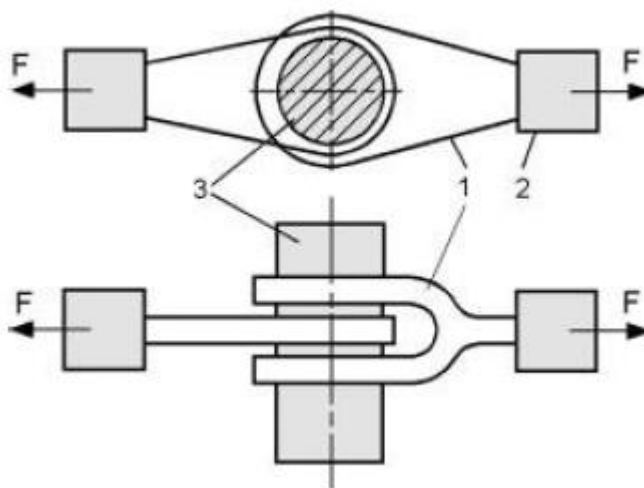
Uchopovač s lany

Na obr. je schematicky znázorněno chapadlo, které má místo klasických čelistí lana. Ty jsou na táhlé mezi dvěma otočnými kotouči. Při natočení do opačných stran dojde k sevření uchopovaného dílu lany. Uchopovaný průměr lze nastavit natočením kotoučů. Součástky mohou být plastové lahve, obrobky s leštěnými povrchy, skleněné trubice a ampule [8].



Obr. 15) Schéma principu gripperu s lany [8]
 1-uchopovaný díl, 2-otočný kotouč, 3-lano

Podobný princip jako je na obr. 21, můžeme pozorovat na obr. 16. Zde jsou místo lan použity elastické popruhy, které jsou natahovány posuvným pohonem. V konvekčním smyslu se dá tento systém považovat za dvoučelistové centrické chapadlo. Ale jelikož má pružné pásy tak se nemusí vycentrovat úplně přesně.

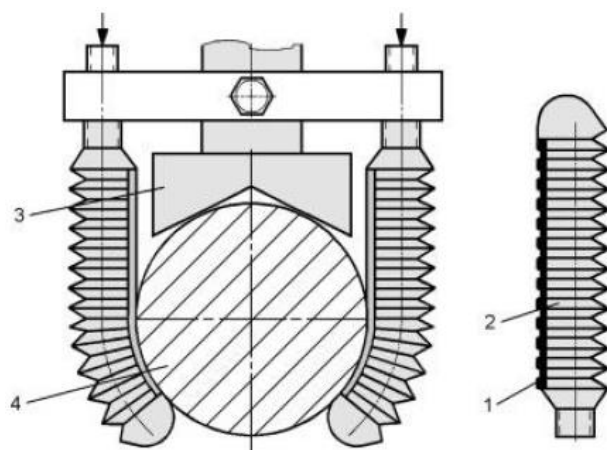


Obr. 16) Náskres uchopení objektu s pružnými pásy [8]
 1-pružné pásy, 2-čelisti, 3-uchopovaný díl

Uchopovač s pryžovými tělesy

Umí obepnout objekt v závislosti na schopnosti ohnout jednotlivé čelisti dle velikosti tlaku (viz obr. 17). Jednotlivé čelisti jsou vybaveny tenkým ohebným plechem. Toto řešení zajišťuje, aby nedocházelo k ohybu mimo vlastní osu. Pohyb prstu je díky tomuto řešení také ohnut při přivedení stlačeného vzduchu. Plech dále zajišťuje navrácení čelistí do otevřené polohy pokud

je přívod tlakového vzduchu vypnut. Uchopovací sílu lze jednoduše vypočítat, protože je závislá na napětí vyvolaných ohybem prstů.



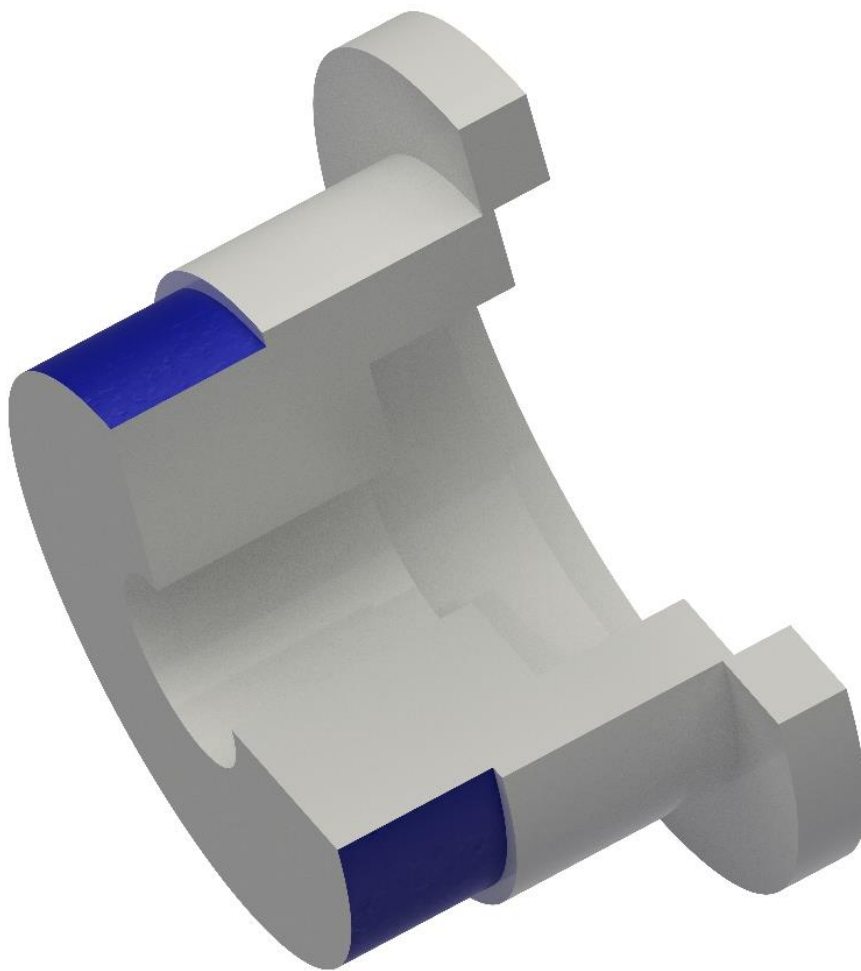
Obr. 17) Princip uchopné hlavice s pryžovými elementy [8]
1-ohebný plech, 2-pryžový element, 3-prismatický doraz, 4-uchopovaná součást

3 ZADÁNÍ

Je potřeba navrhnout koncept robotické linky, kdy základ bude tvořit CNC obráběcí stroj. Obrobené díly budou vyměňovány s polotovary pomocí šestiosého průmyslového robotu. Součástky jsou přiváženy a odváženy na paletách. Polotovary jsou naskládány ve třech vrstvách a mezi nimi jsou vloženy proklady. Proklady se musí skládat vedle na další paletu, protože obrobky jsou naskládány jen v jedné vrstvě. V mezičase kdy stroj obrábí (10 min), bude robot odjehlovat obrobené díly. Následně proběhne očištění stlačeným vzduchem a odmaštění součásti v pračce. V tabulce 1 jsou vypsány základní parametry polotovaru a na obr. 18 vidíme polotovar a modře zvýrazněnou plochu, kde bude docházet k úchopu.

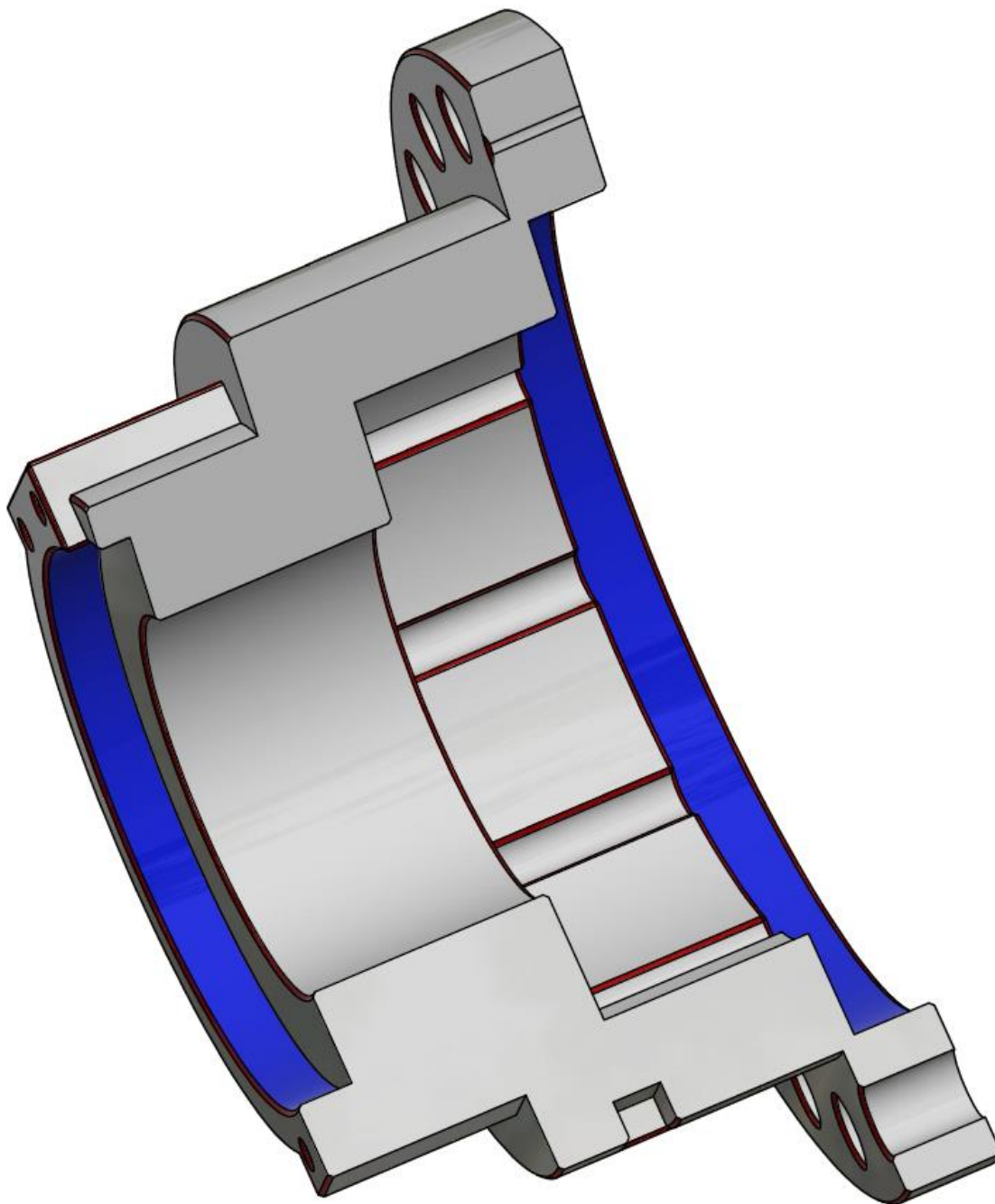
Tab 1) Základní parametry polotovaru

Výška:	157 mm
Vnitřní průměr:	67 mm
Největší vnější pr.	290 mm
Váha:	30 kg
Materiál:	ocel



Obr. 18) Polotovar (částečný řez)

Po obrobení bude součást vypadat dle obr. 19 a vážit 25 kilogramů. Zvýrazněné hrany (červená) obrobeneho dílu se budou odjehlovat. Za modré plochy bude obrobek uchopen.



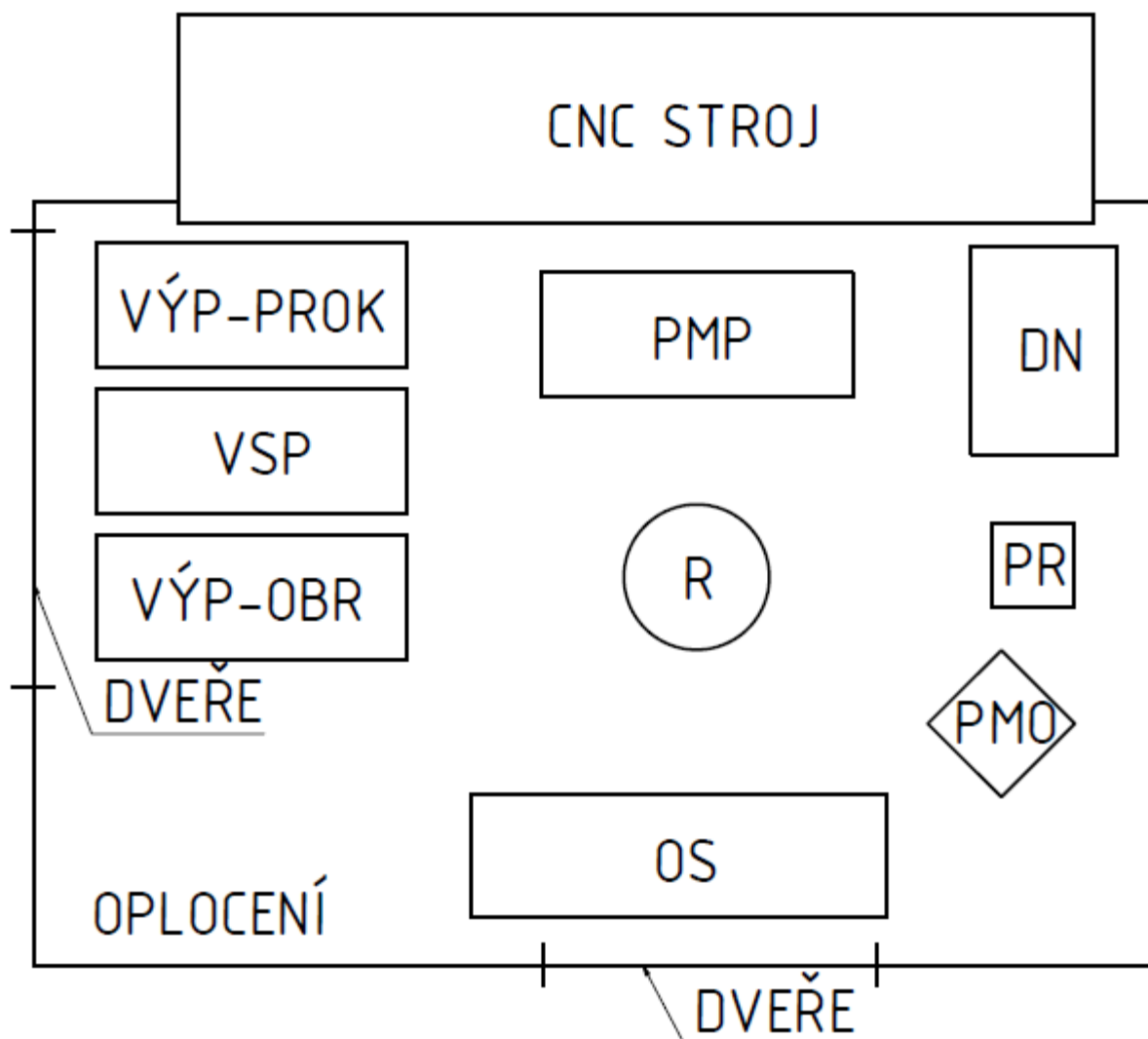
Obr. 19) Obrobek (částečný řez)

4 NÁVRH ROZLOŽENÍ BUŇKY

Jedná se o přibližné umístění jednotlivých prvků na pracovišti, jako jsou roboty, stroje, stojany, dopravníky a ostatních zařízení. Ze zadaných údajů jsou vybrány tři smysluplné varianty a ty jsou následně porovnány na základě hodnotících parametrů.

4.1 První varianta

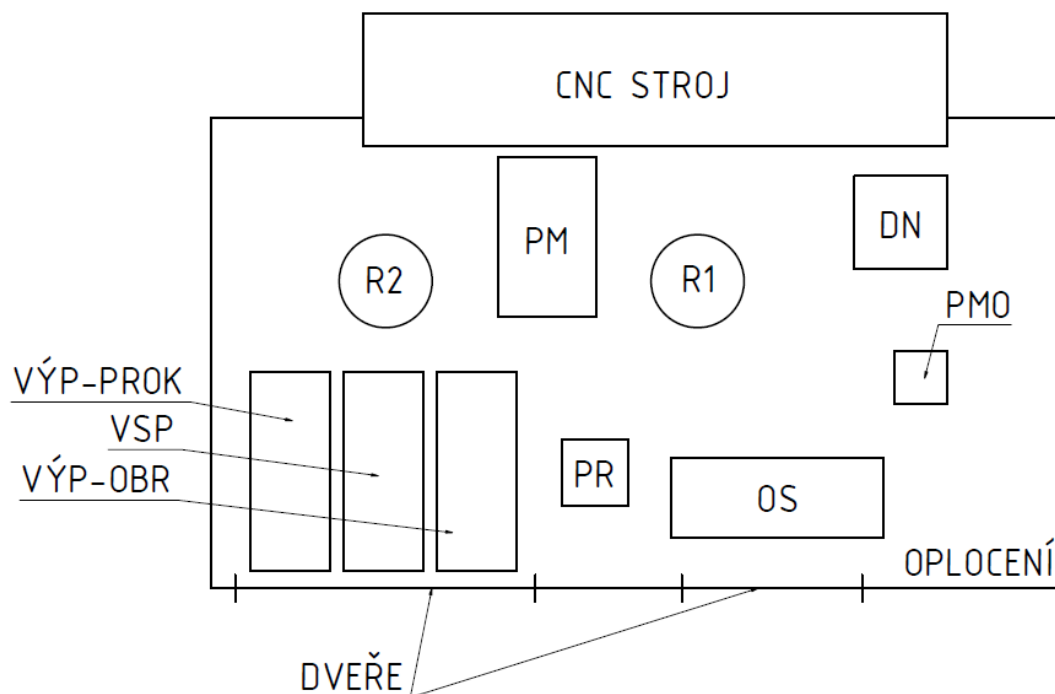
V této variantě je vstupní paleta a výstupní palety (pro proklad-VÝP-PROK a pro obrobek-VÝP-OBŘ) vedle sebe. Uprostřed je umístěn robot (R), který vykonává všechny operace. Pro vyložení polotovarů slouží překládací místo polotovarů (PMP). To je umístěno mezi CNC obráběcím strojem a robotem. Vedle PMP je usazen držák výměny nástrojů robotu (DN), aby bylo možno změnit efektory a vykonat všechny potřebné operace. Pro sražení hran je zde umístěno odjehlovací stanoviště (OS). V oplocení jsou dveře na odvoz třísek. Před konečným uložením obrobku do palety (VÝP-OBŘ) je potřeba očištění v pračce (PR). Jelikož je potřeba uchopit obrobek při odjehlování z obou stran, je zde umístěn stůl na přeupnutí obrobku (PMO).



Obr. 20) Návrh layoutu – verze 1

4.2 Druhá varianta

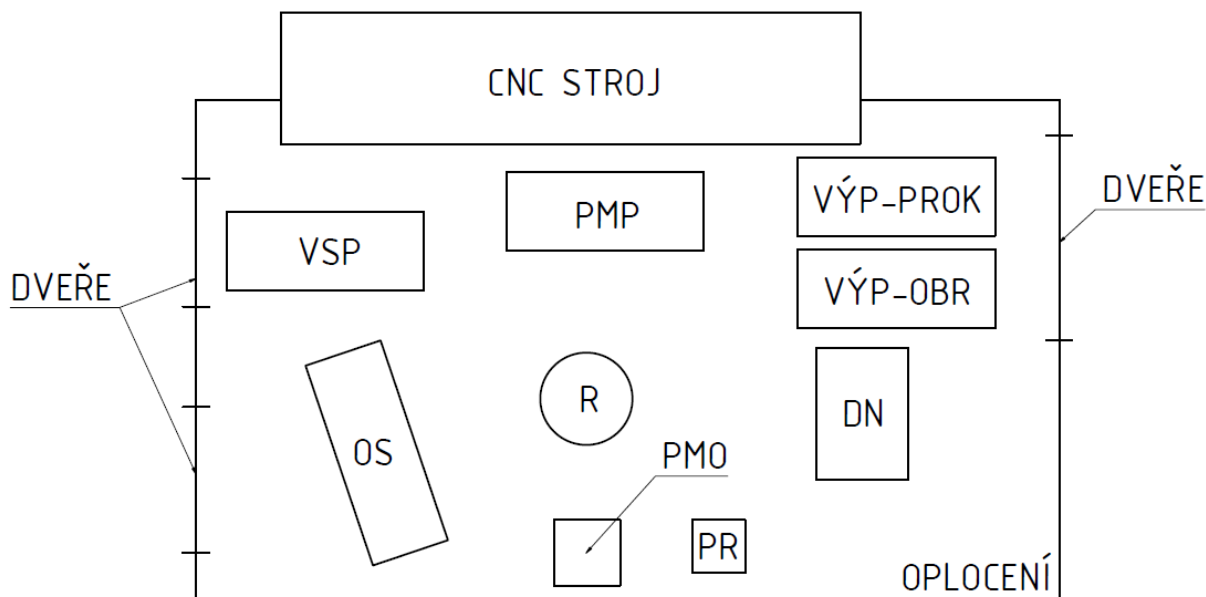
Oproti prvnímu návrhu jsou zde dva roboti (R1 a R2), kdy R1 se stará o výměnu součástí v CNC stroji a o odjehlovací operace. R2 zajišťuje odebrání polotovaru z vstupní palety (VSP) a jeho přesun na překládací místo (PM). Po tom co R1 dokončí všechny operace na obrobku, tak jej přesune na PM, kde dojde k uchopení R2 a přemístěním na výstupní paletu (VÝP-OBR). R2 také přemísťuje proklady z VSP do výstupní palety na proklady (VÝP-PROK).



Obr. 21) Návrh layoutu – verze 2

4.3 Třetí varianta

Všechny operace jsou prováděny jen jedním robotem (R). Tato varianta se podobá první variantě, kdy jsou průchody na dvou stranách. U tohoto případu jsou vstupy na protilehlých stranách buňky. Díky tomuto řešení jsou celkové rozměry buňky menší.



Obr. 22) Návrh layoutu – verze 3

4.4 Výběr varianty

Z navržených variant musíme vybrat nejvíce se hodící nejen z konstrukčního a simulačního hlediska, ale musí být uvažováno i s hlediskem ekonomickým. Tyto kroky a rozhodnutí jsou za normálních okolností konzultovány se zákazníkem. Pro naši potřebu je navržena tabulka 2, kdy jsou v prvním sloupci vypsány hodnotící kritéria. Ke každému kritériu byla přiřazena jeho váha od 1 do 10, kdy 1 má nejmenší hodnotu vážnosti a 10 největší. K variantám byla přiřazena hodnocení od 1 do 3 podle toho jak daná varianta plní dané kritérium. Hodnota 3 odpovídá nejlepšímu splnění a 1 odpovídá nejhoršímu splnění kritéria.

Tab 2) Výběr nejvhodnější varianty podle vážených kritérií

	Váha	Varianta 1.	Varianta 2.	Varianta 3.
Takt buňky	4	2	3	2
Vytížení robotů	8	3	1	3
Předpokládaná výše investice	8	3	1	3
Počet robotů	6	3	1	3
Dráha robotů	7	3	2	1
Potřebný prostor okolo buňky	5	2	3	1
	Celkem	105	63	86

Z tabulky 2 vyplývá jako nejvhodnější první varianta. Oproti druhé variantě má výhodu v menších pořizovacích nákladech kdy je potřeba jen jeden robot. Vůči třetí variantě má první varianta výhodu v pozicích vstupů (dveří) do buňky.

5 EFEKTORY

5.1 Efektor pro odebrání polotovaru z bedny

Slouží na odebrání polotovaru z bedny, a proto musí být tento efektor náležitě upraven. Jeho konstrukce se skládá z několika částí. První částí je samotný gripper s čelistmi, který zajišťuje uchopení polotovaru. Součástí je cylindrického tvaru a tak je voleno tříčelist'ové chapadlo. Pro výpočet potřebné velikosti uchopovací síly použijeme rovnici 1:

$$F_{CHP} = \frac{m_S \cdot (g + a) \cdot b}{\mu \cdot n_{\zeta}} = \frac{30 \cdot (9,81 + 10) \cdot 2}{0,1 \cdot 3} = 3962N \quad (1)$$

Kde: F_{CHP} —potřebná uchopovací síla chapadla [N]
 m_S —hmotnost polotovaru [kg]
 g —tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
 a —zrychlení robota [$m \cdot s^{-2}$]
 b —součinitel bezpečnosti [—]
 μ —součinitel tření [—]
 n_{ζ} —počet čelistí [—]

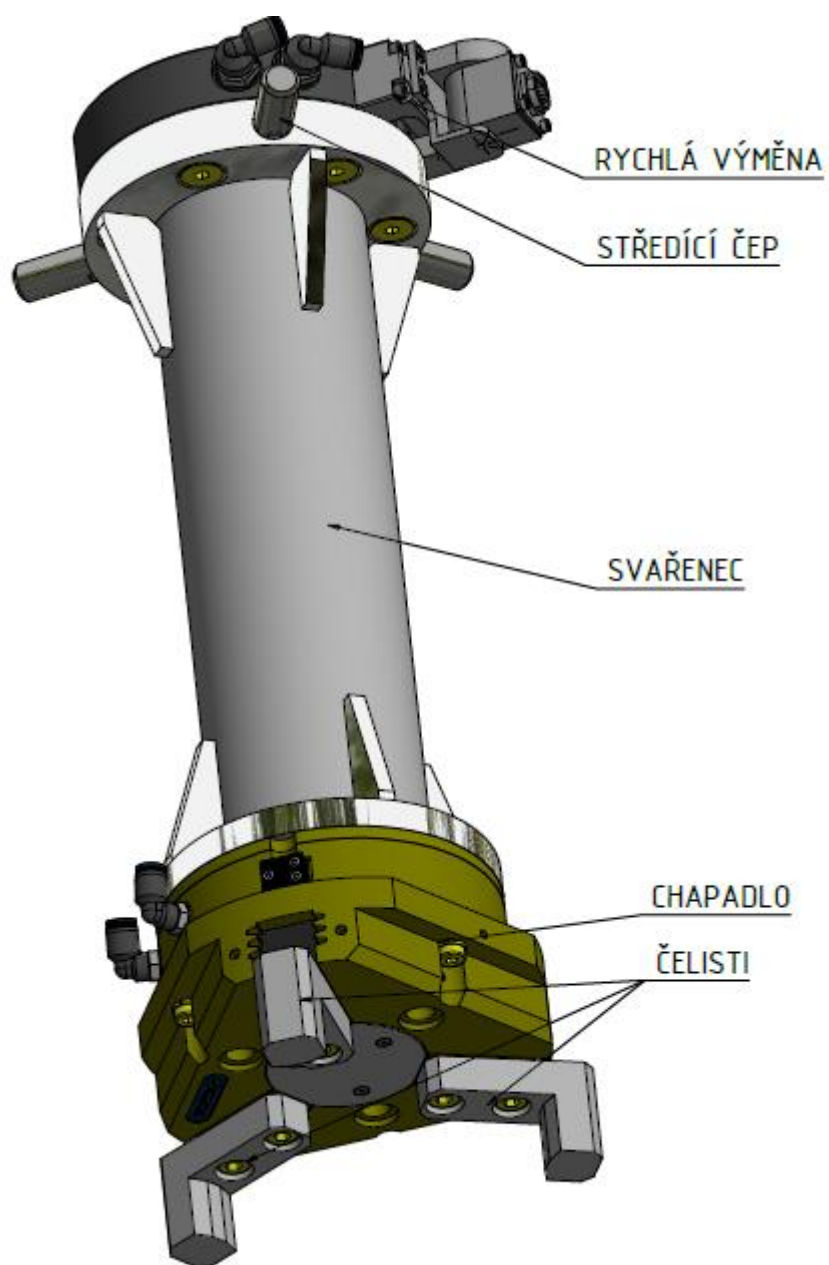
Dle vypočtené potřebné uchopovací síly je zvoleno chapadlo PZN-Plus 160-1 od výrobce Schunk. Čelisti uchopí polotovar na vnějším obvodu (viz. obr 18 – modrá plocha). Čelist je vysoká 48 mm od základny. Výrobce udává při této vzdálenosti maximální uchopovací sílu přibližně 6 000 N. Tato podmínka je splněna. Ještě pomocí rovnice 2 dopočítáme momenty působící na čelist (počítáno s nejhorší možnou variantou pohybu):

$$M_{XY} = m_S \cdot (g + a) \cdot r = 30 \cdot (9,81 + 10) \cdot 0,094 = 55,9Nm \quad (2)$$

Kde: M_{XY} —moment působící na čelist [Nm]
 r —vzdálenost těžiště polotovaru od čela chapadla [m]

Výpočet je totožný pro oba momenty. Výrobce udává, že pro M_x (vyklápí čelist do boku) je maximální moment 170 Nm a pro M_y (vyklápí čelist od osy chapadla) je max. moment 180 Nm. I zde jsou všechny parametry splněny.

Druhou částí efektoru je svařenec z hliníkové slity, který slouží k propojení chapadla a adaptéru rychlé výměny nástrojů, která je třetí částí efektoru. Svařenec je tvořen přírubami, nosnou trubkou a žebry. Příruby slouží pro připojení ostatních částí (rychlá výměna a gripper) efektoru. Příruba pro rychlou výměnu má na obvodu ještě přišroubovány čepy, které slouží pro ukotvení a ustavení polohy efektoru při odepnutí od robotu. Mezi přírubami je přivařena trubka o průměru sto milimetrů, tloušťce stěny deset milimetrů a délce 350 mm. Díky této délce je zajištěno, že robot bude schopný odebrat polotovary i na spodním patře bedny. Žebra jsou přivařena k přírubám po obvodu trubky pro zvýšení pevnosti svařence. Celková váha efektoru po tom dosahuje 11,3 kg bez polotovaru.

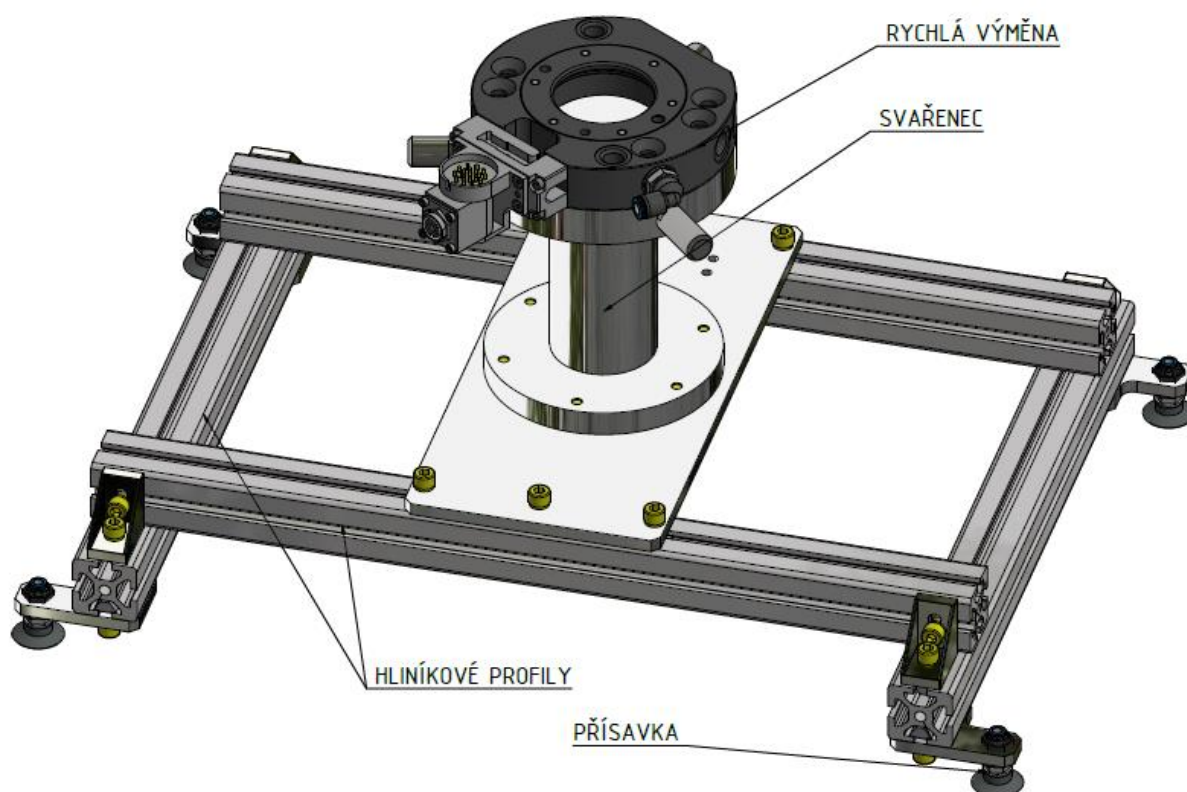


Obr. 23) Efektor pro odebírání z bedny

5.2 Efektor pro odebrání prokladu

Protože, mezi jednotlivými vrstvami polotovarů na vstupní paletě jsou desky na proložení. Kvůli tomu, že nelze použít stávající efektor, je nutno použít na jeho přemístění další efektor. Jelikož je přemísťovaný předmět v rozměrném tvaru a nízké hmotnosti je využito vakuových přísavek s ejektorem od společnosti FESTO. Koncový efektor se skládá z adaptéru rychlé výměny, svařence s deskou, hliníkových profilů a přísavek.

Svařenec tvoří příruby, nosnou trubku a žebra. První příruba slouží k připevnění adaptéru rychlé výměny a je přivařena na konci nosné trubky. Na tuto přírubu jsou na obvodu přišroubovány tři čepy sloužící k ustavení efektoru při jeho odložení. Na druhém konci trubky je přivařená další příruba. K této přírubě je přišroubovaná deska. Ta slouží k připojení hliníkových profilů Modulu 40. Tyto profily jsou poskládány do tvaru obdélníku. Spojeny jsou pomocí dodávaných matic a fixačních úhelníků. Jednotlivé přísavky jsou přišroubovány k hliníkovým držákům, které jsou přišroubovány z dolní strany profilů.



Obr. 24) Efektor pro odebrání prokladu

Na úchop se podílí čtyři kruhové vakuové přísavky typ ESG-30-SF-HA-QS. Jedna přísavka je dle katalogu schopna vyvinout uchopovací sílu 40,8 N při jmenovitém tlaku -0,7 bar. Z rovnice 2 vypočítáme potřebnou sílu na jednu přísavku, kterou je potřeba vyvinout pro udržení prokladu. Platí pro pohyb vzhůru a pro předmět s přísavkou natočen vertikálně dle [17]:

$$F_p = \frac{\frac{m_p}{\mu} \cdot (g + a) \cdot b}{n_p} = \frac{\frac{2}{0,5} \cdot (9,81 + 10) \cdot 2}{4} = 39,6N \quad (3)$$

Kde:

- F_p —potřebná síla přísavky [N]
- m_p —hmotnost prokladu [kg]
- g —tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
- a —zrychlení robota [$m \cdot s^{-2}$]
- b —součinitel bezpečnosti [–]
- μ —součinitel tření [–]
- n —počet přísavek [–]

Dle provedeného výpočtu vychází potřebná síla pro přísavku 39,6 N. Navržená přísavka tedy vyhovuje, neboť je schopna vyvodit sílu 40,8 N. Navíc je zde počítáno se součinitelem bezpečnosti 2 a se zrychlením robota $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Pro vytvoření podtlaku je potřeba navrhnout ejektor. Nejprve se musí spočítat celkový objem okruhu:

$$\begin{aligned} V_T &= n \cdot V_1 + n \cdot V_2 + \pi \cdot \frac{d_p^2}{4} \cdot l_p = \\ &= 4 \cdot 867 + 4 \cdot 719 + \pi \cdot \frac{4^2}{4} \cdot 2200 \doteq 34 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (4)$$

Kde:

- V_T —celkový objem systému [mm^3]
- V_1 —objem přísavky [mm^3]
- V_2 —objem držáku přísavky [mm^3]
- V_3 —celkový objem systému [mm^3]
- d_p —vnitřní průměr potrubí [mm]
- l_p —délka potrubí [mm]
- n —počet přísavek [–]

Dále spočítáme přibližnou dobu vytvoření potřebného podtlaku. Jedná se o stránku efektivního využití času, kdy je třeba navrhnout ejektor, který vytvoří vakuum v krátkém časovém úseku:

$$t_E = \frac{V_T \cdot t_{E1}}{1000} = \frac{34 \cdot 8}{1000} \doteq 0,27 \text{ s} \quad (5)$$

Kde:

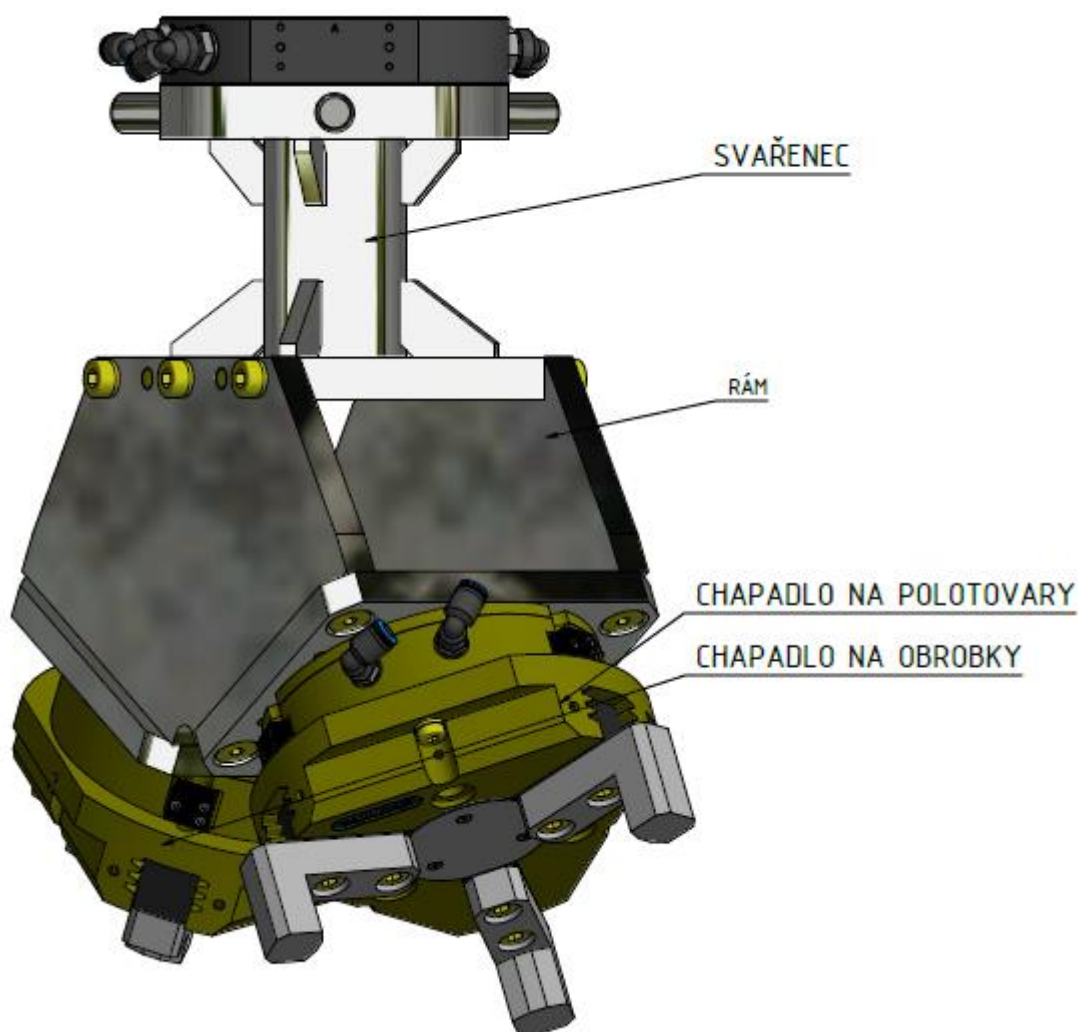
- t_E —čas pro vznik podtlaku mezi přísavkami a prokladem [s]
- t_{E1} —čas pro odsání 1 l vzduchu v závislosti na podtlaku [s]

Dle výsledků a vyhodnocení grafů je navržen ejektor s integrovaným vakuovým spínačem (VN-05-H-T4-PQ2-VQ2-O1-P). Bude umístěn na rameni robota spolu s filtrem.

5.3 Efektor pro výměnu součástí

Slouží na výměnu polotovaru a obrobku ve stroji. Zde je použito stejné tříčelist'ové chapadlo jako u efektoru na odebrání polotovaru z palety. Kontrolní výpočet v kapitole 7.1 (obrobek váží méně a splňuje podmínky, menší velikost čelistí). Protože je potřeba uchopit v jednu chvíli jak polotovaz, tak i obrobek, musí tady být dvě chapadla. U polotovaru dochází k uchopení čelistí na stejném místě jak u KE v kapitole 7.1. U obrobku dochází k styku čelistí na vnitřním obvodu dle obr 19 - modrá plocha.

Chapadla jsou přišroubována k deskovému rámu. Tvoří jej dvě bočnice a tři příruby (jedna je část svařence). Je navržen tak, aby chapadla byla od sebe rozevřena pod úhlem 120°. Toto řešení zajišťuje jednoduší výměnu a manipulaci součástí ve stroji. Aby byla jednoduchá výměna efektoru, je mezi rámem a adaptérem výměny vložen svařenec z přírub, žeber a trubky. Díky tomu lze efektor dostat snadně z dorazů držáku efektorů. Normálně by vznikla kolize s rámem. Ale svařenec odsazuje rám od adaptéru a tím vznikne vůle mezi deskou držáku a rámem. Tím je umožněno dostatečně povyjet efektozem nad odkládací stojan efektoru, tak aby nedocházelo ke kolizi se středícími čepy a dorazy držáků. Kompletní váha efektoru je 26 kg. S uchopeným obrobkem a polotovarem je váha 81 kg.

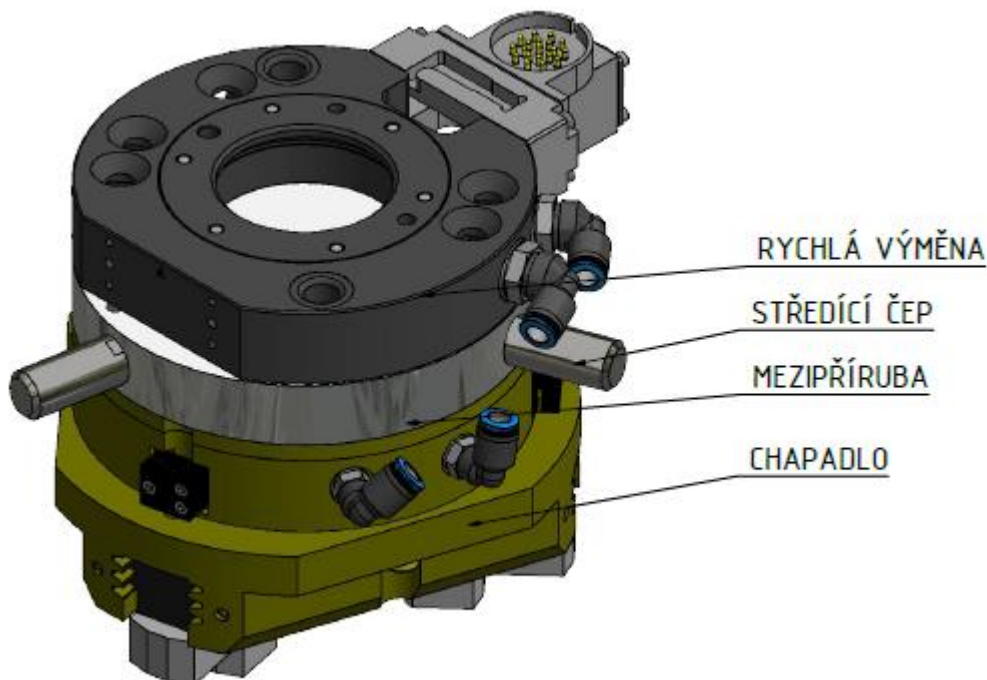


Obr. 25) Efektor pro výměnu součástí

5.4 Efektor na odjehlení

Efektor slouží k uchopení obrobku při odjehlovacích operacích, následné manipulaci do pračky a uložení do výstupní palety. Chapadlo bude stejného typu jak u 7.1 a 7.3, protože je zde zahrnuto i čištění obrobku je použito chapadlo s vyšší ochranou proti korozi.

Aby se zmenšil počet efektorů tím i snížila celková cena a takt robotu, jsou čelisti navrhnuté tak, že jsou schopné uchopit obrobek z obou stran. K dotyku dochází na vnitřních válcových plochách (obr. 19 – modré plochy). Tím je docílena dostupnost všech ploch při přeuchopení. Efektor je tvořen pouze adaptérem, chapadlem a přírubou, která zajišťuje spojení mezi nimi. Na přírubu jsou také přišroubovány tři středící čepy.



Obr. 26) Efektor na odjehlení

5.5 Systém rychlé výměny

Pro výměnu nástrojů je využit systém od společnosti Schunk. Skládá se z adaptéru, které jsou namontované na efektech popsaných v předchozích podkapitolách, s typovým označením SWA 076. A z hlavy (master) připevněné na robotu s označením SWK 076. Master je vyroben tak, že má stejné připojovací rozměry jako příruba robotu. Je tedy namontovaná napřímo. K výměně efektorů bude docházet na odkládacích stojanech.

V základním provedení je výměna vybavena pěti pneumatickými průchody s podporou vakua. Všechny průchody jsou využity s tím, že jeden průchod slouží pro propojení ejektoru, který je umístěn na rameni robotu a přísavek z efektoru na proklady. V doplňkovém příslušenství je namontován adaptér s typovým označením SWO-GF19-K pro hlavu (pro adaptéry GWO GF19-A). Slouží na průchod elektrických signálů od tříčelistových chapadel.

Pro kontrolu únosnosti výměny jsou ze stránek výrobce doporučené maximální momenty v jednotlivých osách. Předpokládáme požití efektoru na výměnu součásti s nasazeným polotovarem i obrobkem. Jedná se o nejtěžší variantu. Při výpočtu je uvažováno s pohybem vzhůru. Dle momentu síly:

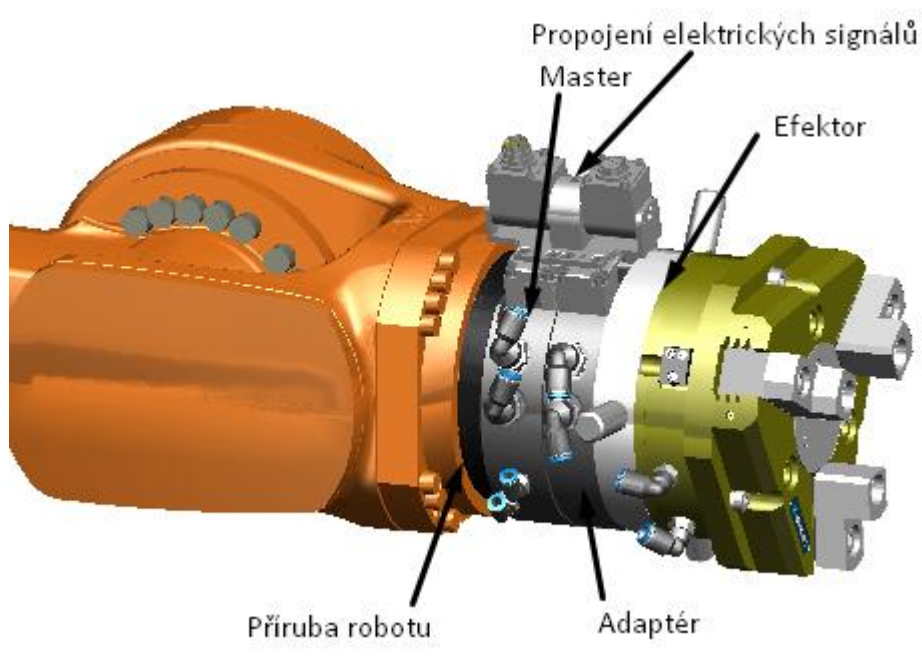
$$M_{SRV} = (m_{EVS} - m_{SRV}) \cdot (g + a) \cdot l_{SRV} \quad (6)$$

$$M_{SRV} = (81 - 3,7) \cdot (9,81 + 10) \cdot 0,362 = 554,4 \text{ Nm}$$

Kde:

- M_{SRV} —moment vyvíjený na adaptér [Nm]
- m_{EVS} —hmotnost efektoru pro výměnu součástí kompletní [kg]
- m_{SRV} —celková hmotnost rychlé výměny [kg]
- l_{SRV} —vzdálenost těžiště od čela adaptéru [m]

Výrobce udává maximální moment 1626 Nm. Z výpočtu vyplývá velká rezerva. Výrobce také doporučuje manipulační hmotnost do 100 kg. Obě podmínky jsou splněny.

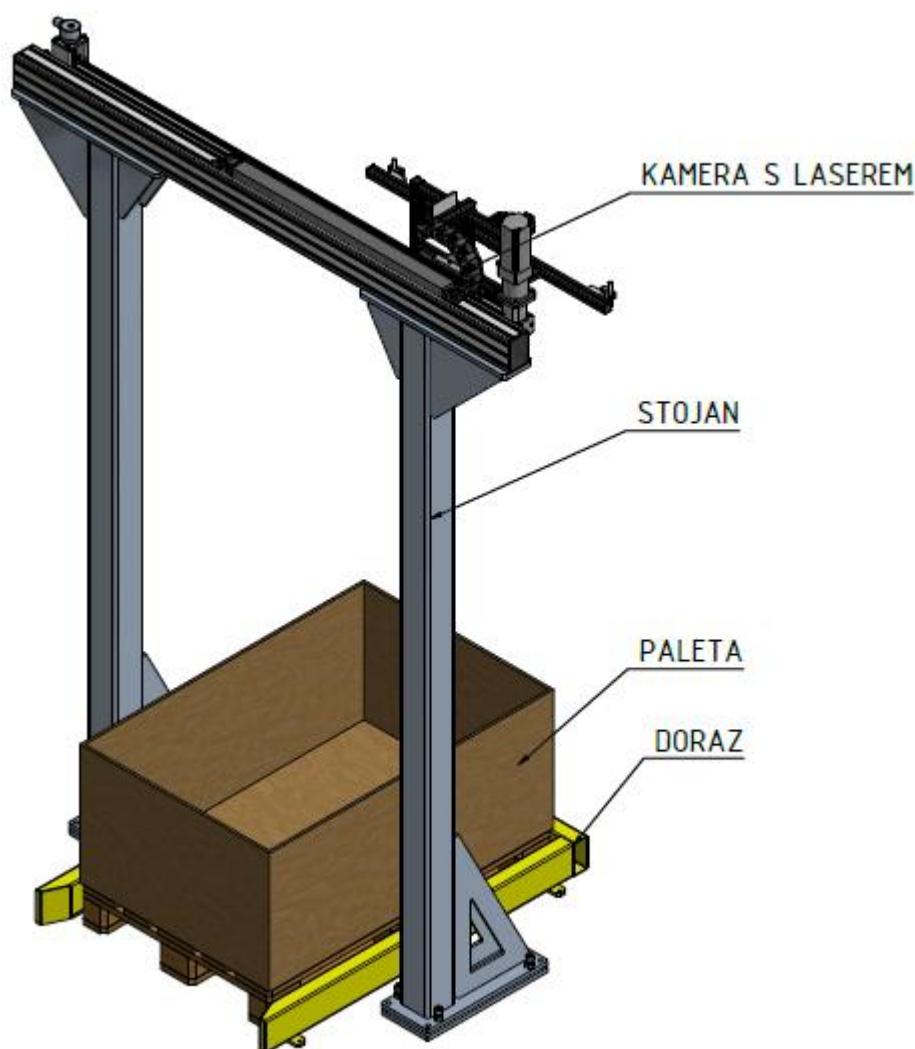


Obr. 27) Umístění efektoru a systému rychlé výměny na robotu

6 DÍLČÍ ČÁSTI BUŇKY

6.1 Vstup materiálu

Zde je obsluhou dopraven materiál na euro paletách vybavené hrazením. Polotovary jsou naskládány ve třech úrovních. V každé úrovni je uloženo osm polotovarů. Pro oddělení jednotlivých pater slouží papírové desky (proklady). Pro zajištění přibližné polohy palety slouží třístrany doraz přišroubovaný k podlaze. Jedná se ocelový svařenec. K zjištění pozice k uchopení jednotlivých polotovarů nám slouží výběr objektu tzv. binpicking. Navržený systém je od společnosti Blumenbecker. Skládá se z kamery Sick Ranger, liniového laseru, pojezdu a rámu. Kamera s laserem přejede nad bednou a vznikne 3D snímek, kdy s pomocí softwaru se dopočítá trajektorie k uchopení dílu.

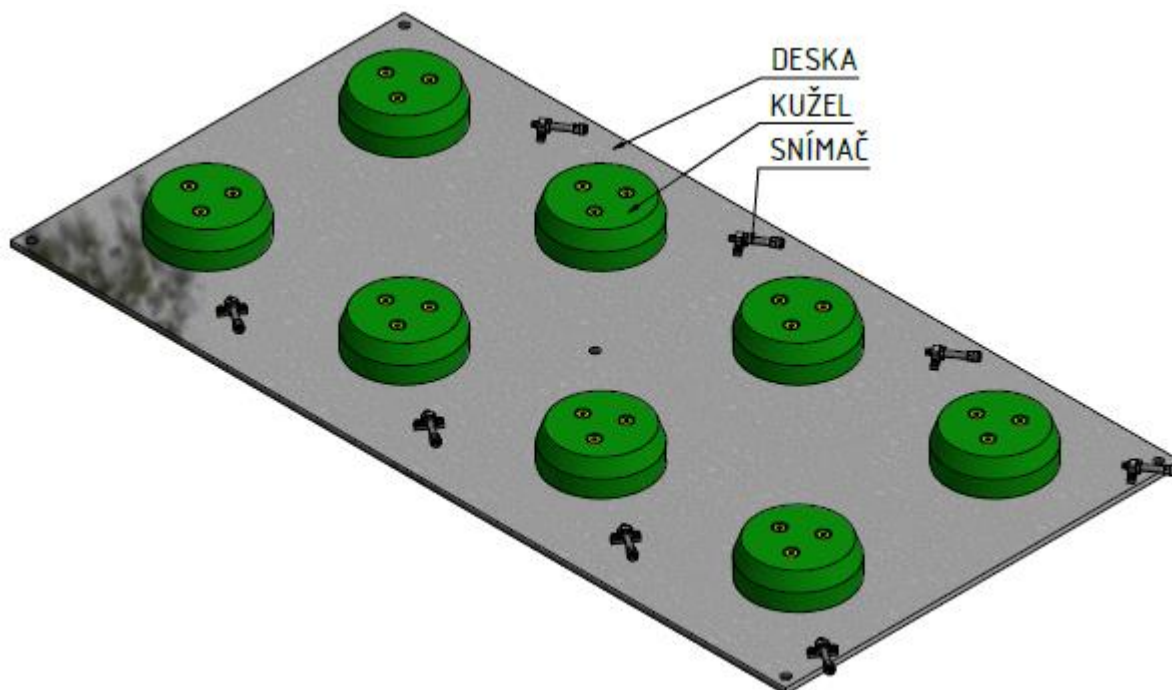


Obr. 28) Vstup materiálu

6.2 Překládací místo polotovarů

Po nabrání polotovaru ze vstupní palety dojde k jeho uložení na překladišti. Kapacita překladiště je pro osm polotovarů. Lze zde tedy vyskládat celou jednu úroveň. Překládací místo se skládá z ocelové desky tloušťky 8 mm, která je připevněna k podlaze. K desce je

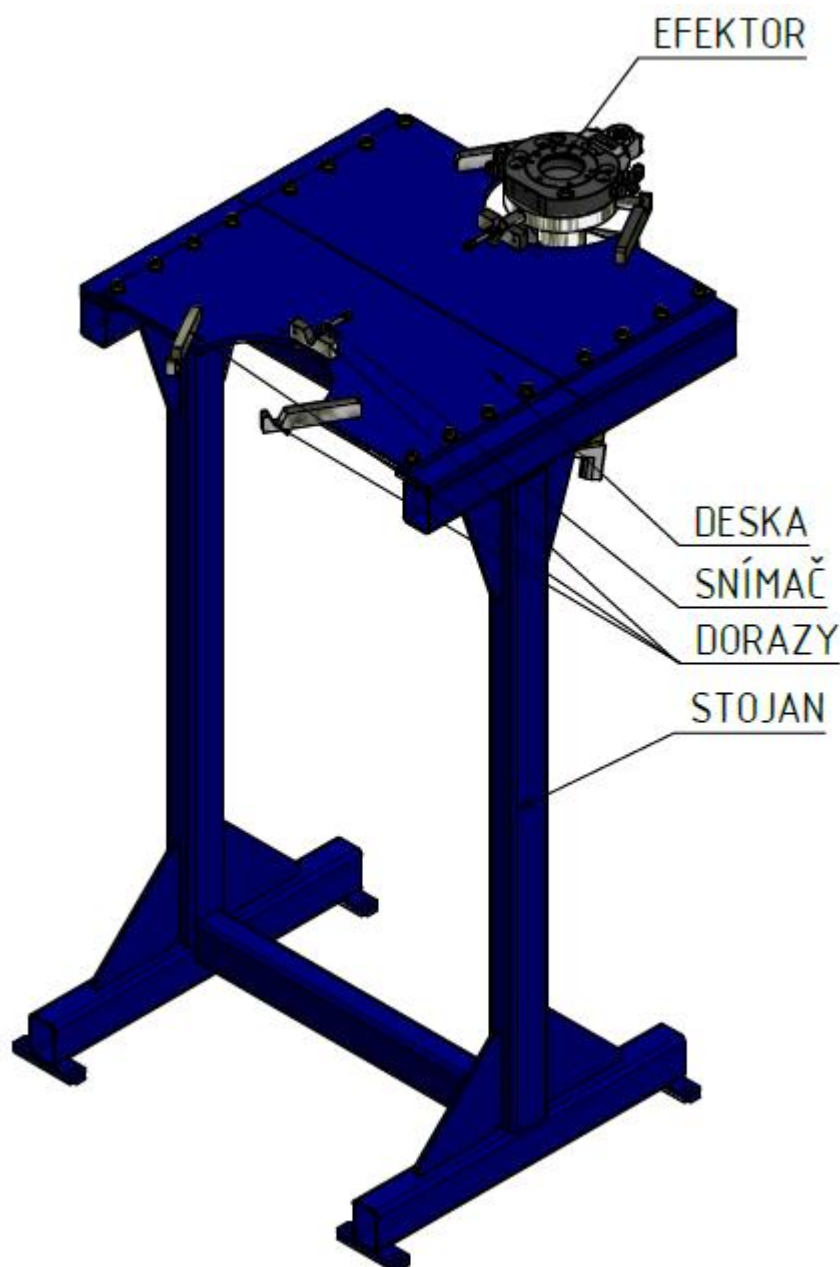
přišroubováno osm centrovacích kuželů šrouby M8. Toto řešení slouží pro zamezení posuvu polotovaru. Pro zjištění obsazenosti jednotlivých pozic pro řídicí systém, je ke každému hrotu v dostatečné vzdálenosti od uloženého polotovaru přišroubován indukční snímač v držáku. Jedná se o typ snímače BES M08EH1-NSC60F-S04G od výrobce BALLUFF pro montáž do otvoru M8 se snímací vzdáleností 6 mm.



Obr. 29) Překládací stanoviště polotovarů

6.3 Odkládací stojan efektorů

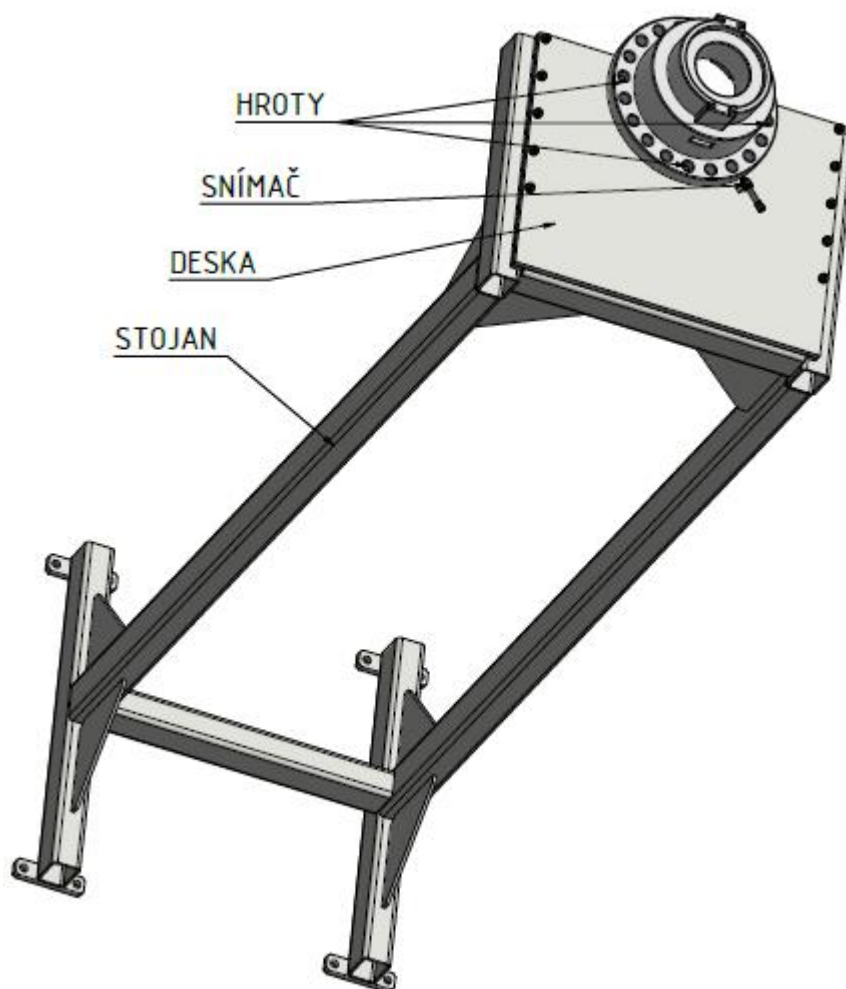
Při nevyužívání koncového efektoru je potřeba ho uložit. To musí být provedeno tak, aby ho robot byl znovu schopen uchopit. Rám je tvořen ocelovým svařencem, kde je použit profil 70x50x4 a ocelové desky o tloušťce 12 mm, které slouží k připevnění konstrukce k podlaze a k přišroubování horní desky. Žebra jsou vytvořena z ocelového plechu tloušťky 6 mm. Horní deska obsahuje vybrání pro průchod efektorů. Okolo jsou umístěny díry na připevnění jednotlivých dorazů, do kterých zapadají čepy z efektorů. Díky tomu je zajištěna poloha efektoru. Za přímým dorazem, který je plastový (zbylé dva ocelové) jsou ještě další dva otvory pro připevnění držáku s indukčním snímačem (stejný typ jako u překládacího místa polotovaru). Snímač slouží pro kontrolu přítomnosti jednotlivých efektorů. Na stranách desky jsou vyvrtány díry M10 pro připevnění k rámu stojanu. Jelikož je stojan navržen pro dva efektor, deska s ostatními díly je zde dvakrát a jsou proti sobě otočeny o 180°.



Obr. 30) Odkládací stojan s efektozem

6.4 Odkládací stojan obrobků

Po dokončení výměny součásti ve stroji robot přesune součást na odkládací stojan. Vymění si efektor z výměny součásti na odjehlovací efektor. Uchopí obrobek a přesune se k odjehlovacím stanici. Rám je sestaven ze stejných ocelových profilů jako u odkládacího stojanu efektorů. Na rámu je přišroubována deska, na kterou se položí obrobek. Deska obsahuje vybrání, to slouží k tomu, aby robot byl schopen si součást položit a vzít z druhé strany (z dolní strany). A následně odjehlit druhou stranu. K zajištění a vystředění polohy obrobku slouží tři středící hroty po obvodu otvoru. Hroty dosedají do otvorů na přírubě obrobku. Pro kontrolu přítomnosti součásti je zde ještě přišroubován držák s indukčním snímačem (stejný jak v předchozích případech). Z důvodu dostupnosti k obrobku i z dolní strany a vzhledem k velikosti robotu, dosahuje stojan výšky od čisté podlahy po horní stranu desky 1772 mm.



Obr. 31) Překládací stanoviště obrobků

6.5 Odjehlovací stanoviště

Když robot uchopí obrobek odjehlovacím efektozem, přesune obrobek k odjehlovacím nástrojům. Jelikož je na obrobku více rozdílných kontur, jsou použita čtyři vřetena s frézami. Všechny vřetena jsou použity od výrobce Mannesman-Demag.

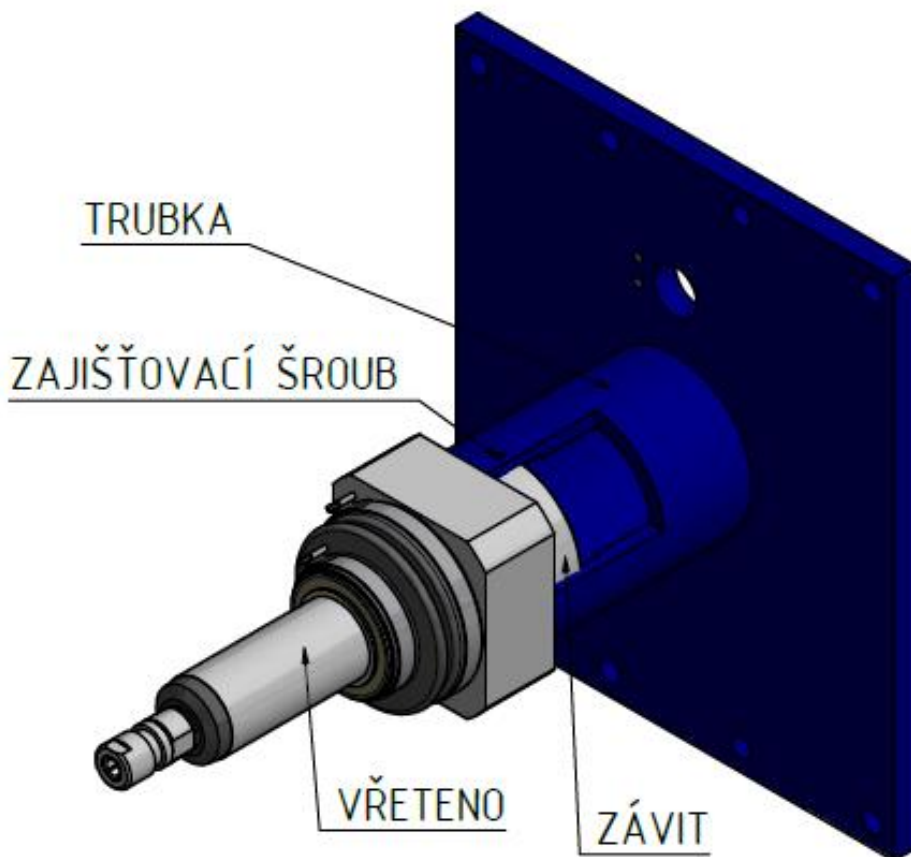
Pro sražení hran děr je použito vřeteno typu EBS 520 WK poháněné stlačeným vzduchem s osazeným záhlubníkem o průměru 20 mm a vrcholovým úhlem 90°. Mezi

vřetenem a nástrojem je vložena spojka. Ta má možnost radiálního odklonu od osy 7° a radiální posunutí 0,5 mm. Díky tomu lze kompenzovat určité odchylky v uchopení a v na polohování.

K oještění vnitřních čel slouží hrncový kartáč se stopkou s vnějším průměrem 70 mm od výrobce Pferd (další nástroje jsou od tohoto výrobce také). Je osazen na vřetenu typu ESR 84-6000 AX 25 WS. Vřeteno je schopné axiální kompenzace 25 mm při nastavení síly odporu 25-1000 N pomocí stlačeného vzduchu.

K odještění normálních (3D) hran slouží stopková fréza se špičkou osazené na vřetenu ESR 350. Vřeteno je schopno se vyklonit do strany o $\pm 4^\circ$. Sílu odklonu lze kompenzovat v rozsahu 8-55 N pomocí stlačeného vzduchu. Na druhém vřetenu stejného typu je usazena stromovitá fréza, která slouží na 5D hrany.

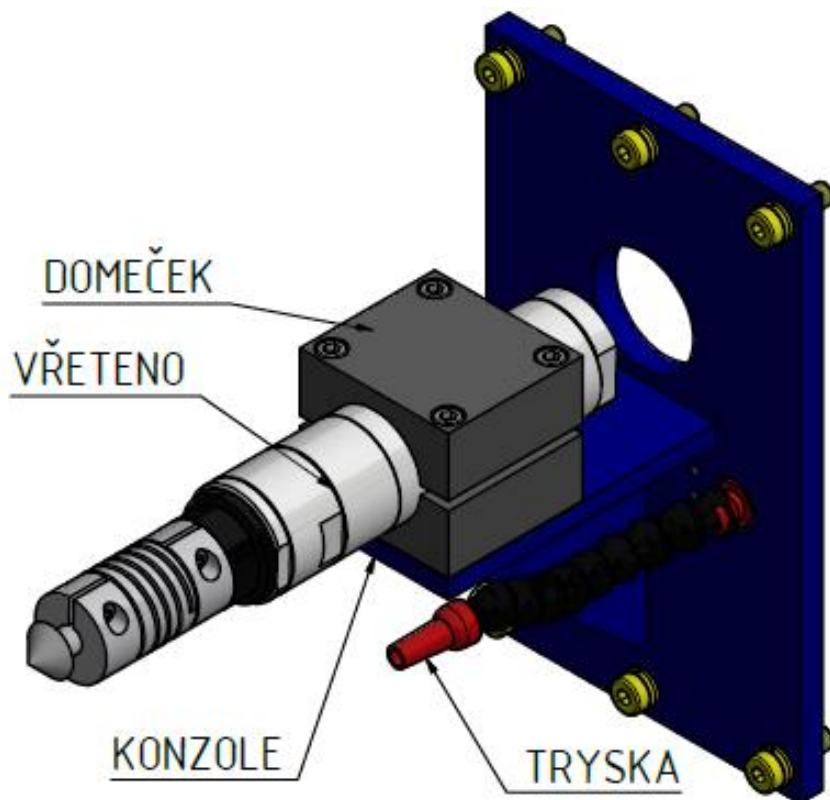
Všechny vřetena kromě typu EBS 520 WK mají na své zadní straně venkovní závit (ESR 350 má menší průměr než ESR 84-6000...). Závit je určen na našroubování na konzoli. Konzola je ocelový svařenec desky a trubky. Deska má v sobě dvě díry. Jedna slouží na průchod trubky, a aby se ze zadní strany mohl napojit přívod stlačeného vzduchu do vřeten. Druhá díra je nad trubkou, ke které je připevněná tryska na chlazení nástrojů. Připevnění vřeten je provedeno závitem, kdy na konci trubky je stejný vnitřní závit. Proti pootočení vřetena jsou na boku trubky vyvrtané dvě díry pro zašroubování šroubů bez hlavy velikosti M4.



Obr. 32) Pohled na upevnění vřetene

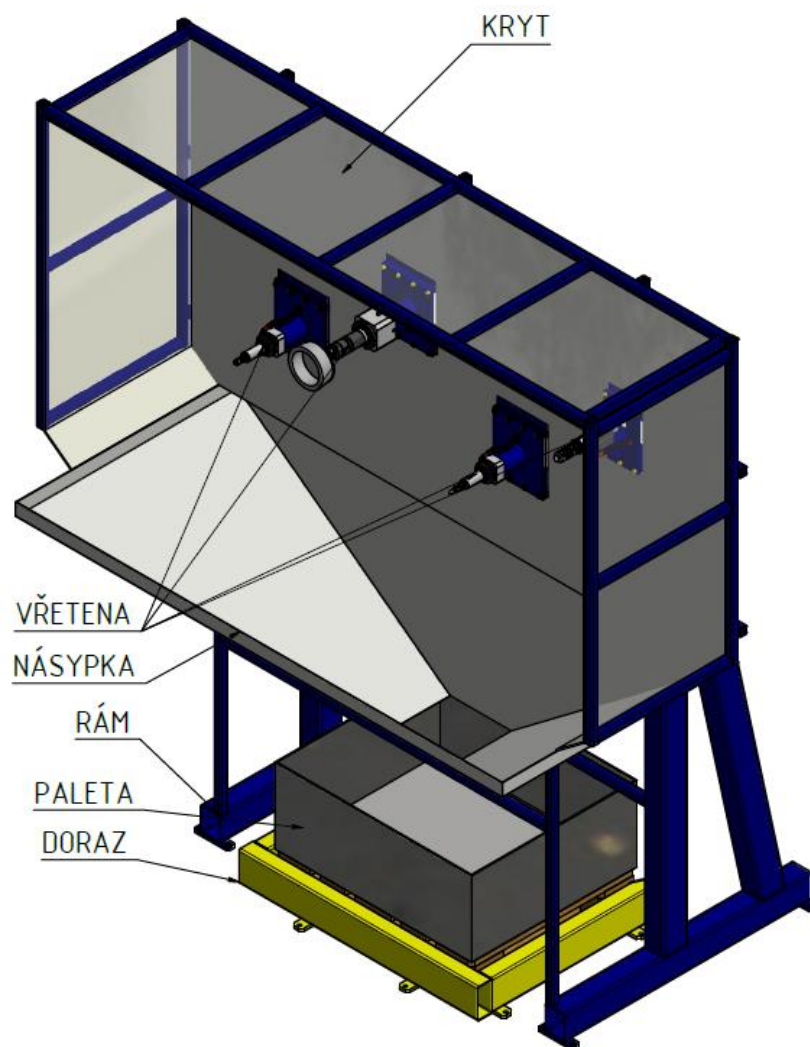
Poslední vřeteno je na konzoli přišroubované pomocí domečku dodaného k vřetenu. Konzola je tvořena dvěma deskami a jedním žebrem. V upínací desce je vzadu díra na průchod

stlačeného vzduchu. Další otvor je vedle vodorovné desky, kde je přišroubováno chlazení nástroje. Konzole jsou k rámu připevněny osmi šrouby M8.



Obr. 33) Pohled na poslední vřeteno

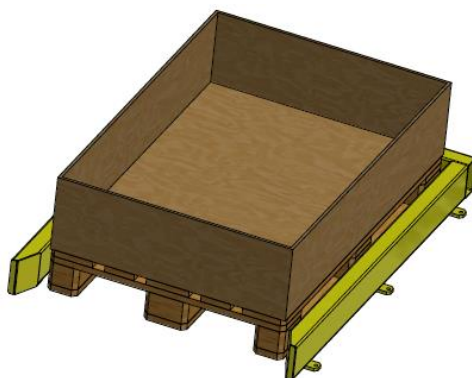
Aby byl rám tuhý je svařen z profilu 100x80x4. Dodatečné profily 30x30x3 slouží na usazení násypky. K rámu je přišroubována 10 šrouby M4. Násypka je zde z důvodu svedení odletujících otřep do palety s bednou. Paleta je na místo usazena obsluhou a pro zajištění polohy slouží zmenšený třístranný doraz (podobný jako v 7.1). Na rámu je ještě přišroubován kryt, který zamezuje odletování třísek od robotu a svádí je do násypky. Horní čelo krytu je otvírací z důvodu zlepšeného přístupu při údržbě vřeten (výměna opotřebovaných nástrojů). Konzole s vřeteny jsou na rámu přišroubovány ve dvou řadách, kdy kvůli ušetření zástavbových rozměrů je horní řada odsazena od spodní řady.



Obr. 34) Odjehlovací stanoviště

6.6 Výstupní palety

Výstup materiálu je realizován stejně jak vstup, kdy obsluha odváží po naplnění palety. Kapacita palety je 8 obrobků. Je zde využit stejný třístranný doraz pro najetí obsluhy do přibližné pozice. Protože je potřeba odvážet i proklady, které jsou mezi jednotlivými úrovněmi, je zde ještě druhá paleta s hrazením a dorazem. Ta má kapacitu 16 míst, kdy se jednotlivé proklady skládají na sebe.



Obr. 35) Paleta s dorazem pro odvoz prokladů

6.7 Výběr robotu

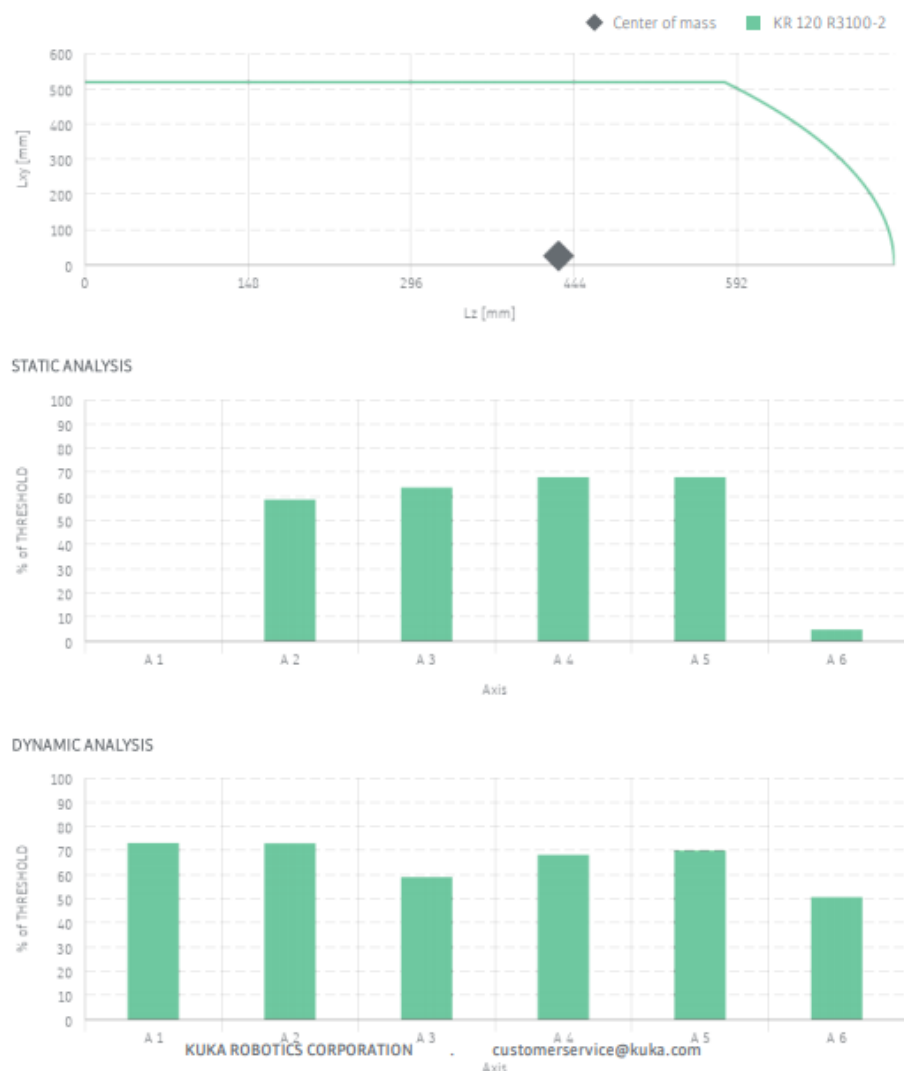
Je vybrán šesti osý robot od výrobce KUKA. Na trhu je samozřejmě daleko více výrobců. Je, ale potřeba zjištění taktu simulaci v programu Tecnomatrix Process simulate. Pro přesné zjištění času operací je potřeba připojit RCS (robot controller systém) modul, který slouží jako virtuální řídicí jednotka. Výpočty rychlostí (i celkového chování) robotu odpovídá reálné situaci. Na ÚVSSR je zakoupena licence pouze na roboty KUKA. Pro naši situaci potřebujeme robota s velkým dosahem. Z tabulky máme na výběr z několika typů.

Tab 3) Typy robotů dle dosahu

Typ	Dosah [mm]
KR 120 R2700-2	2701
KR 120 R3100-2	3100
KR 120 R3500 prime K	3501
KR 120 R3900 ultra K	3901

Doporučenou nosnost mají všechny typy stejnou. Protože je v buňce hodně rozměrných stanovišť je potřeba vybrat pečlivě dosah robotu. Pokud je vybrán robot s krátkým dosahem nemusí na dané pozice dosáhnout. Pokud se vybere větší robot, tak může nastat situace, kdy robot tam bez problému dosáhne. Ale kvůli jeho velikosti se tam nemůže natočit, jak je potřeba. Pro naši aplikaci byl vybrán robot s označením KR 120 R3100-2.

I když je robot vybrán s rezervou, provedeme kontrolu únosnosti efektorů. Budeme počítat s efektem na výměnu polotovaru s obrobkem, která je nejtěžší variantou v našem případě. Kontrola je provedena v programu KUKA Compose. Zde si zvolíme vybraný typ robotu. Dále je potřeba zadat váhu efektoru i s uchopenými součástkami, vzdálenost těžiště od příruby a potřebné momenty setrvačnosti. Všechny tyto parametry zjistíme z modelu v CAD programu.



Obr. 36) Zatížení jednotlivých os robota z KUKA Compose

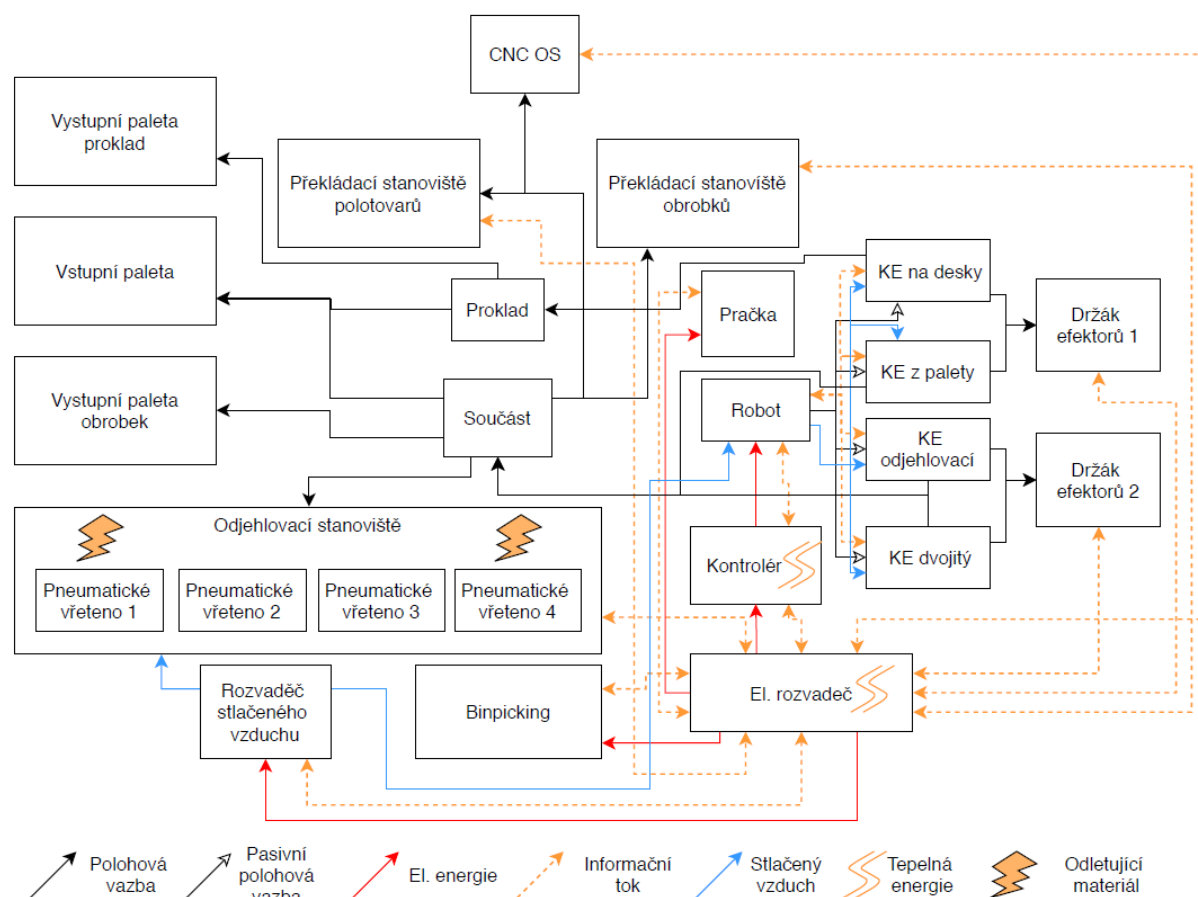
Z obrázku 36, vidíme, že robot s přehledem unese efektor se součástkami jak staticky tak i dynamicky.

7 BEZPEČNOST ROBOTICKÉ BUŇKY

Robotická buňka představuje z pohledu obsluhy nebezpečný prostor. Je nutné nejen navrhnout všechny dílčí části buňky, ale i zajistit bezpečnost takového pracoviště. Nejdříve je nutné analyzovat rizika. Pokud je některé riziko vysoké tak je nutné je snížit.

7.1 Blokový diagram

Pro zobrazení všech prvků v pracovišti a jejich vzájemné interakce je vhodné zakreslit do blokového diagramu. Diagram musí být na dobré rozlišovací úrovni, aby byly všechny podstatné prvky viditelné



Obr. 37) Blokový diagram

7.2 Relevantní nebezpečí

Z digramu následně vypíšeme pro každou komponentu v buňce zdroje nebezpečí. Část komponent je popsáno v následující tabulce s umístěním a s jednotlivými typy nebezpečí zbytek v příloze

Tab 4) Původy relevantního nebezpečí – část

Komponenta	Umístění	Typ nebezpečí
Robot	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Elektrická nebezpečí (2) Tepelná nebezpečí (3)
Koncové efektory	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Nebezpečí způsobená hlukem (4)
Odjehlovací stanoviště	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1) Tepelná nebezpečí (3) Nebezpečí způsobená hlukem (4)
Součást	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí (1)

7.3 Analýza významných nebezpečí

V následující tabulce jsou zahrnuté všechny životní etapy robotické buňky. Jednotlivé fáze jsou od dopravy a montáže až po údržbu a vyřazení z provozu. Jedná se o ukázkou, celá tabulka lze nalézt v příloze.

Tab 5) Analýza významných nebezpečí – část

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Typ stroje: Robotická buňka na obsluhu CNC stroje a odhjhlování obrobků
Během životního cyklu buňky				
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí dle (ČSN EN ISO 12100)		Popis nebezpečné události:
		Stručný popis	Id. číslo	
	Doprava			
.1	Balení a rozbalování	pořezání, zakopnutí	1.1-1 9.1-1 1.2-1 8.1-1	Při balení a rozbalování stroje může dojít k zakopnutí nebo naražení o části stroje. Popřípadě pořezání a odření o ostré části
	Nakládání,	stlačení,	1.1-2	Nesprávné upevnění stroje k jeřábu, vzv. a jeho

.2	přeprava, vykládání	naražení, chyba člověka, stříh	1.5-1 1.7-1 8.1-1	neočekávaný pád stroje.
----	------------------------	--------------------------------------	-------------------------	-------------------------

Všechna identifikovaná nejvýznamnější nebezpečí jsou vypsána v příloze. V tab. 7 je jich několik vypsáno. V tabulce jsou přiřazena kritéria. Z jednotlivých kritérií nám po té vyjde z tabulky 6 velikost nebezpečí.

1. Závažnost škody na zdraví
 - S1 – lehké poranění (dočasné následky)
 - S2 – těžké zranění (trvalé následky)
 - S3 – smrt
2. Četnost a doba trvání ohrožení
 - A1 – zřídka až častěji
 - A2 – často až trvale
3. Možnost vyvarování se nebezpečí
 - E1 – běžně
 - E2 – možné za určitých okolností
 - S3 – sotva možné
4. Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
 - W1 – malá
 - W2 – střední
 - W3 – velké

Tab 6) Odhad rizika

	Začátek																	
	S1						S2						S3					
	A1			A2			A1			A2			A1			A2		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
W1	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
W3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Tab 7) Seznam významných nebezpečí – část

Přehled identifikovaných závažných nebezpečí					S	A	E	W	Hodnota
1	Mechanické nebezpečí								
1.1	Nebezpečí stlačením								

1.1-1	Nebezpečí stlačením při nakládání, přepravě a vykládání částí buňky	2	1	1	1	5
1.1-2	Nebezpečí stlačení při převozu buňky a jeho částí	2	1	1	1	5

U všech hodnot, které dosáhly hodnoty 6 a více, dojde ke snížení rizika. To je provedeno většinou ve třech krocích. Prvním krokem je opatření zabudování v konstrukci, v dalším bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření. Posledním opatřením jsou informace pro používání

Pro odhad rizika a jeho snížení slouží formulář. Celý seznam je možné nalézt v příloze. Zde je jen na ukázkou v tabulce 8.

Tab 8) Formulář na odhad rizika – část

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Bc. Jiří Šváček		Stroj: Robotická buňka na obsahu CNC stroje a odhlehování obrobků	
				Datum: 1.4.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100			
		1. Mechanické nebezpečí			
1.1-7	1	Nebezpečí stlačení při normální provozu			
Životní etapa stroje:	Uvedení do provozu/Provoz		Nebezpečný prostor: Prostor buňky		
Ohrožené osoby:	obsluha, programátor		Provozní stav stroje: V provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Při provozu může dojít k stlačení robotem a dalšími částmi buňky				
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt		Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		17	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností			
	Pst. výskytu nebezpečné události	W3 – velká			
Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Přípevnění oplocení okolo buňky (dojde k rozdělení prac prostoru a okolí). Oplocení bude obsahovat i vstupy do buňky, kdy je zamezeno funkci buňky, pokud je obsluha uvnitř. U každého vstupu bude nainstalováno ovládání na vstup do buňky a další signalizační prvky.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké poranění		Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		5	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností			
	Prs. výskytu nebezpečné události	W3 - Velká			
Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření					

7.4 Bezpečnostní prvky

Dle vzniklých nebezpečí jsou navrženy bezpečnostní a ochranné prvky v této podkapitole.

7.4.1 Ochranné oplocení

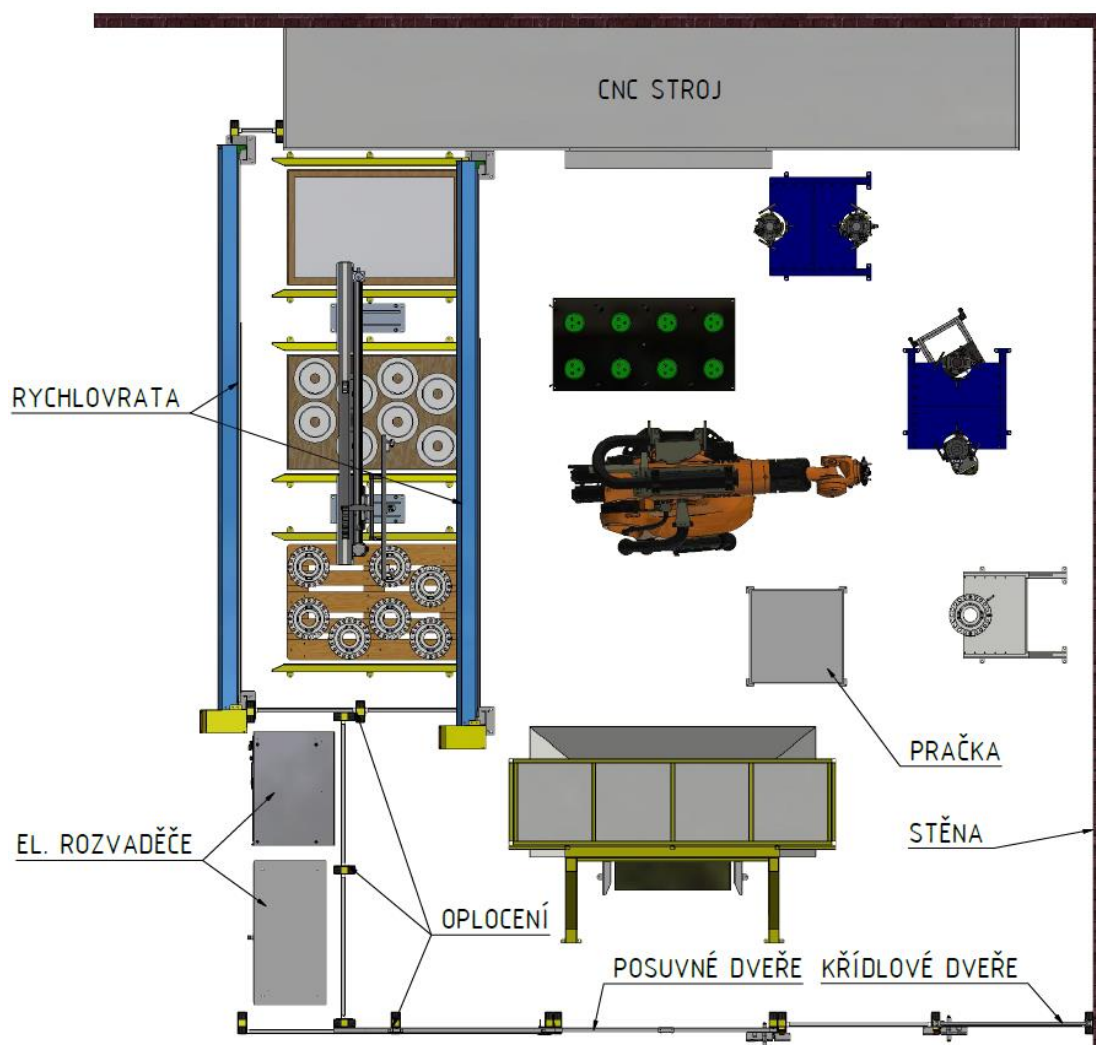
Oplocení je navrženo dle EN ISO 13857. Výška plotu 2300 mm. Výška nebezpečného prostoru je dle simulace maximálně 2 200 mm. Z tabulky 2 z normy vyplývá bezpečná vzdálenost od plotu minimálně 400 mm. Tuto podmínku splňujeme. Navržený plot je s typovým označením X-Guard od výrobce Axelent. Jedná se o sestavu sloupků a výplní. Sloupky jsou průřezu 50 x 50 mm. Výplň je z důvodu možnosti odletujících třísek tvořena průhlednou plastovou výplní. Jsou využity i od výrobce krycí lišty na zakrytí mezer mezi sloupkem a výplní tak aby došlo k úplnému znemožnění průchodu třísek oplocením.

Mezi rychlovraty je výška nebezpečného prostoru 2500 mm, zde je tedy zvýšeno oplocení na 2500 mm. Vzdálenost min. 100 mm od nebezpečného prostoru je zde dodržena.

7.4.2 Vstup do buňky

Do buňky je možno vstoupit několika způsoby. První možností je použít servisního vstupu. Je v rohu buňky. Jsou použity křídlové dveře opatřené bezpečnostním zámkem Knox od ABB Jokab. Další možností vstoupit do buňky je pomocí posuvných dveří. Tento vstup je v buňce pro vývoz palety s třískami po odjehlování opatřené stejným typem zámků. Všechny dveře jsou od výrobce Axelent.

Posledním vstupem do buňky je využitím rychlovrat. Jsou zde dvojce rychlovrata od výrobce ASSA ABLOY s typovým označením Rapid Protect 300. Rozměry prostupů dveří jsou 3780 mm x 2200 mm (šířka x výška) a 3780 mm x 2700 mm. První dveře slouží k oddělení okolního prostředí od vstupní a výstupních palet. Druhé vrata slouží k oddělení palet od ostatního pracovního prostoru. V praxi to bude fungovat tak, že vnitřní vrata jsou otevřená a vnější zavřená. Robot vykonává potřebné operace (odjehlení, manipulace). Pokud chce obsluha vyměnit palety, tak zadá požadavek pomocí tlačítka na sloupku (viz 8.8.3). Jestli je to možné tak se zavřou vnitřní vrata a otevřou venkovní. Obsluha je chráněná od nebezpečného prostoru vnitřními zavřenými rychlovraty a může vyvést naplněnou paletu a usadit prázdnou paletu na místo. Po výměně obsluha opustí prostor a zmáčkne aktivací tlačítko na sloupku.



Obr. 38) Horní pohled na buňku

7.4.3 Ovládání buňky

U každého vstupu do buňky je na sloupku připevněná tlačítková skříňka. Jedná se o typ Smile 41, kdy jsou na skřínce čtyři tlačítka. Horní tlačítko slouží pro nouzové zastavení všech operací buňky. Zbývající tři tlačítka jsou použita pro ovládání buňky. Všechny vstupy ze skříňek jsou zapojeny do bezpečnostního PLC Pluto. Obě bezpečnostní prvky vyrábí společnost ABB Jokab



Obr. 39) Tlačítková skříňka Smile 41 [18]

8 SIMULACE

V práci je použit program Tecnomatic Process Simulate (dále jen PS) na vytvoření simulace a zjištění taktu robotu. Kromě toho ověříme v programu dosah a dráhu robotu. Jednotlivý pohyb robotu v simulaci vytvoříme tak, aby nevznikaly kolize. Případně bude nutná úprava konstrukce prvků buňky. Vytvořená data (programy robotu) po té můžeme stáhnout a nahrát přímo do robotu v reálné buňce. Samotný PS obsahuje daleko více funkcí, např. simulace lidských úkolů nebo virtuální zprovoznění.

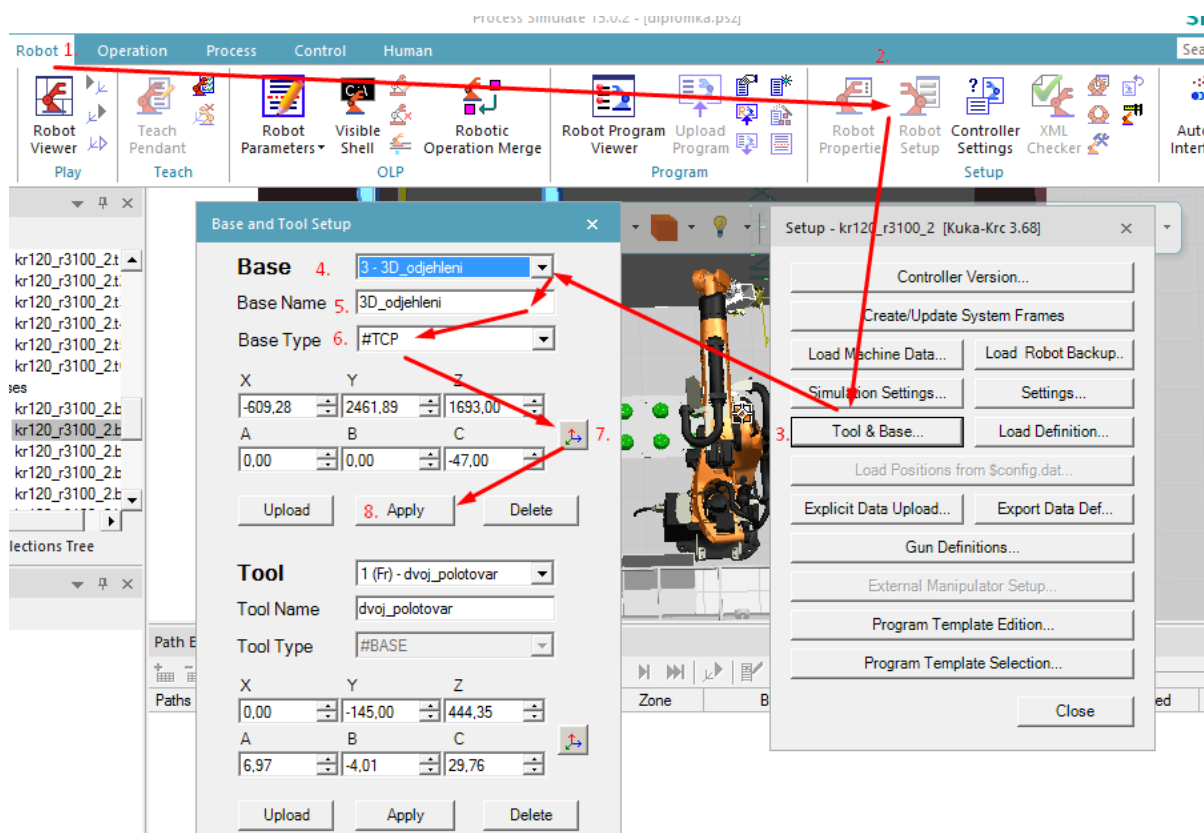
8.1 Vytvoření trajektorie

Z předchozích let jsou už vytvořeny závěrečné práce se základním zprovozněním simulace v PS [19], [20]. Tím pádem už tu nebudou popsány kroky jako nahrání modelu do PS, nastavení koncových efektorů a kinematiky stroje, pick and place operace.

Všechny popisy jsou prováděny v defaultním zobrazení PS a pro roboty KUKA. Nicméně u ostatních výrobců bude nastavení obdobné. Někdy je možné v PS docílit stejných trajektorií použitím trochu jiných příkazů. V práci byly využity tyto příkazy:

Nastavení base nástrojů

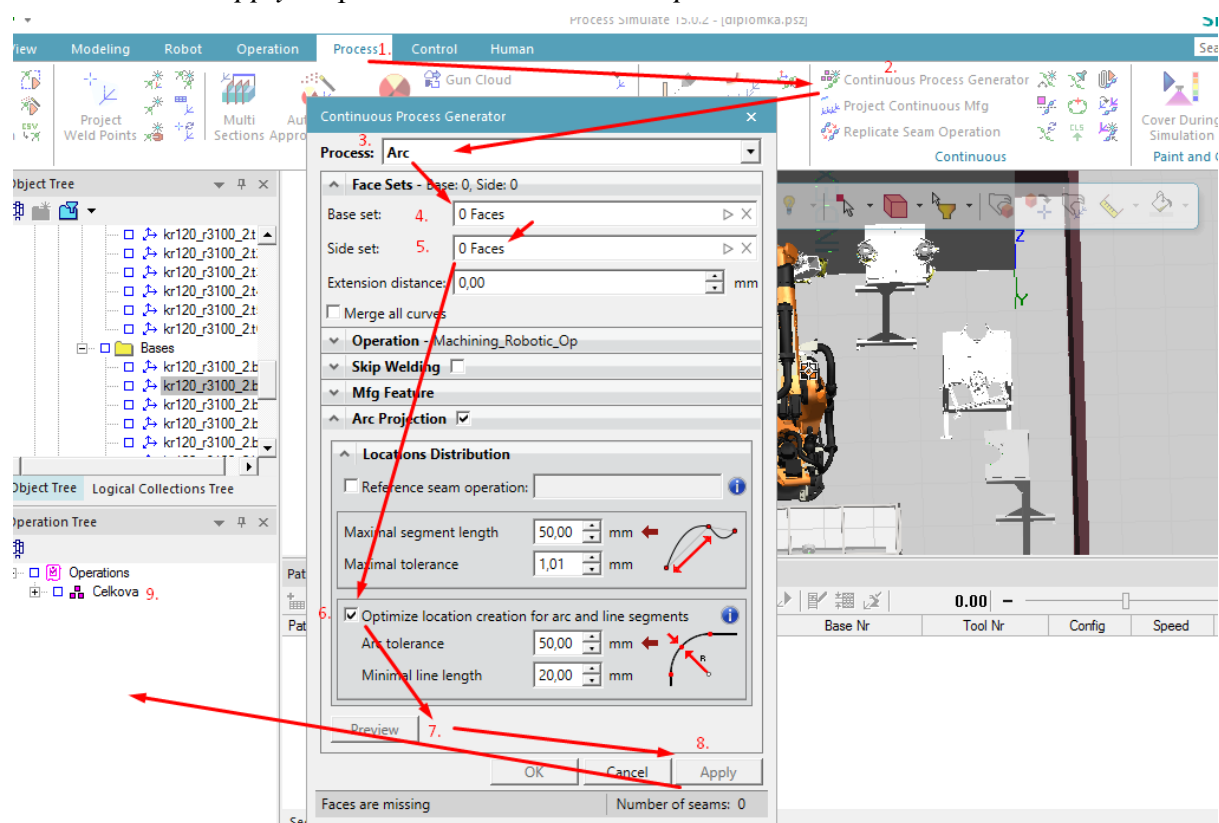
Aby fungovala odjehlovací sekvence je potřeba nastavit jednotlivé BASE na hroty odjehlovacích nástrojů v řídicím kontroléru robotu. Nejprve se překlikneme do záložky *Robot*. Následně označíme robota, u kterého chceme nastavit BASE. V našem případě je pouze jeden, ale stejně musí být označen, jinak nám nepůjde vybrat funkce *Robot Setup*. Po naběhnutí nabídky vybereme tlačítko *Tool & Base*. Zde už si můžeme nastavovat v dolním okně TCP jednotlivých nástrojů robotu. V horní části okna je nastavení BASE. Vybereme si číslo pod, kterým chceme mít uložené určitou BASE. Následně zadáme její název a zvolíme *Base type* (typ BASE). Toto je důležité jinak by nám po tom simulace nefungovala tak jak potřebujeme. V defaultním nastavení je zaklinknuto *#BASE*. Toto je potřeba změnit na *#TCP*. Pokud máme nastaveno, tak akorát musíme vybrat FRAME, v našem případě odjehlovacích nástrojů. Jsou dvě možnosti. První možností je, že nejprve si vytvoříme FRAME už natočený tak jak má být a na správném místě v *Self modeling scope* a následně si ho vyhledáme v *Object Tree*. A druhou možností je si přímo najet na obrazovce do míst, kde se má FRAME nacházet a počkat až se nám zobrazí *Pick point*. Následně stačí kliknout a potvrdit. Pokud budeme volit druhou možnost, musí se dát pozor, aby nedošlo k vybrání nějakého vedlejšího bodu. Dále je potřeba zkontrolovat natočení. Obě věci jdou upravit v nabídce. Následně stačí dát *Apply*. A nabídku zavřít



Obr. 40) Postup nastavení BASE

Vytvoření odjehlovací dráhy

Na vytvoření dráhy využijeme vestavěné funkce nazvanou *Continuous Process Generator*. Dostaneme se k ní na záložce Process. Po té co se nám otevře nabídka, nastavíme si v rozevírací liště *Face Sets* v horním poli *Arc*. Následně klikneme na *Base set*. Vybírání křivek zde funguje na principu vybrání dvou ploch. Jedna strana *Base set* a druhá strana *Side set* a mezi nimi vznikne trasa (většinou roh dílu). V *Base set* si vybírám „čelní“ stranu. A v *Side set* boční stranu. Po vybrání se nám zobrazí modrá čára s šipkou. Klinutím na šipku můžeme měnit směr pohybu a také odsazení od startu a konce. V další rozevírací liště *Operation* si nastavíme jméno operace a robota ke kterému má být operace přiřazená. Pokud bychom svařovali, tak v rozevírací liště *Skip Welding* si můžeme nastavit přerušovaný svar. My pouze odjehluje a tak tuto nabídku přeskočíme. Ještě si rozklikneme *Arc projection*, kdy si zde můžeme obloukové křivky vytvářet jako oblouky a použít příkazy na projetí po kruhové dráze. Jinak by nám PS vygeneroval body na kružnici a mezi nimi by robot vykonával přímočarý pohyb. Po nastavení dáme *Apply* a operace se nám zobrazí v *Operation tree*.

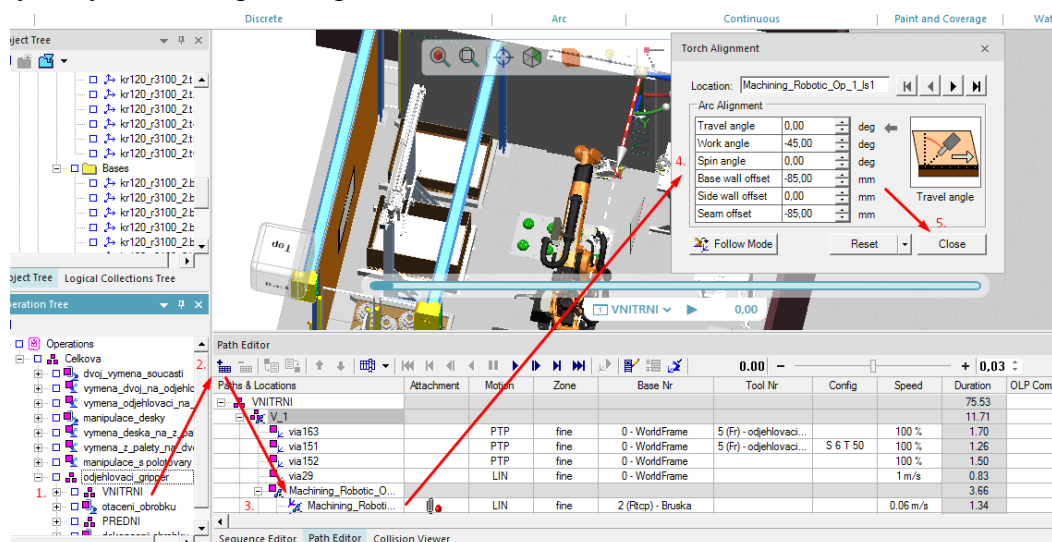


Obr. 41) Postup vytvoření trajektorie

Úprava trajektorie

Pomocí předchozího kroku máme vytvořenou dráhu. Ve většině případu je potřeba změnit natočení jednotlivých průjezdních bodů. Popřípadě je posunout dle potřeby. Pro úpravu napřed musíme operaci vložit do *Path Editor*. Zde si vybereme určitý bod. Pokud tento bod chceme upravit, klikneme na něj pravým tlačítkem. Zobrazí se nám nabídka a vybereme *Torch Alingment*. Zobrazí se nám okno, kde si můžeme změnit natočení popřípadě celý bod posunout. Následně své úpravy potvrdíme. Nyní přichází nejdůležitější část a to nastavit k těmto bodům námi zadanou BASE. Pokud v *Path Editor* nemáme sloupeček s výběrem Base, musíme ho sem přidat. Pro KUKA je potřeba přidat sloupeček s názvem BASE Nr. Pokud ho máme přidáný.

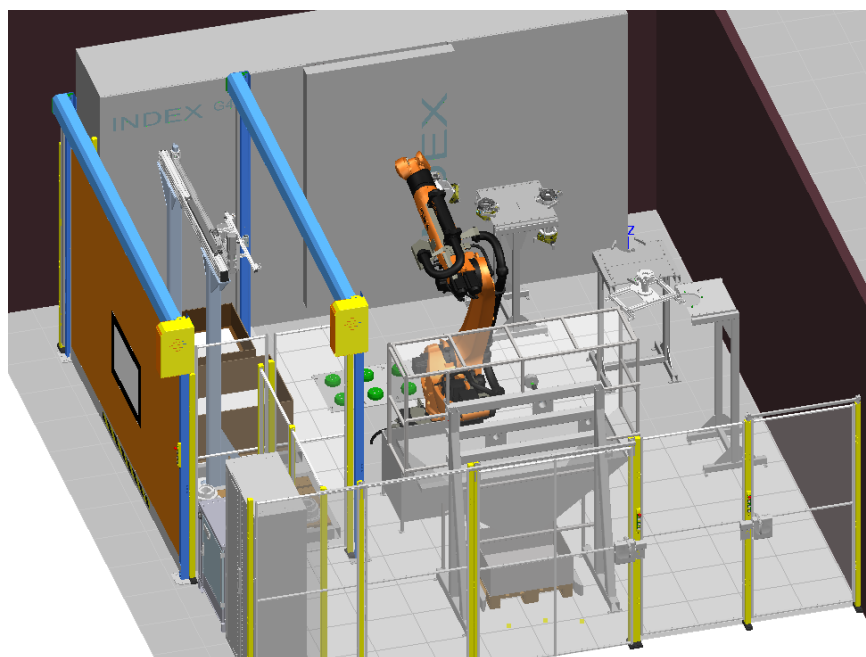
Tak si u bodu, který jsme upravili rozklikneme nabídku u BASE Nr a vybereme námi nastavenou BASE. Protože v našem případě máme stacionární frézu a pohybujeme dílem, je potřeba, aby byla vybraná BASE s předponou (Rtcp). Pokud stejným postupem nastavíme všechny body, můžeme po tom pustit simulaci.



Obr. 42) Postup úpravy jednotlivých bodů

8.2 Výsledky simulace

Po té co byly všechny potřebné dráhy nastaveny a bezkolizně ověřeny, pustila se celá simulace. Dle navržených drah vyšel takt robotu **420 sekund** (bez RCS modulu 507 s), pokud vyskládá všech 8 polotovarů z vstupní palety na jednu. Pokud tento úkon proběhl, je takt robotu pouze **315 sekund** (bez RCS modulu 338 s). Takt CNC stroje je **10 minut**. Maximální délka taktu robotu trvá **7 minut** (bez RCS 8,45 minut). Dle zjištěných časů robot zvládá obsluhovat CNC stroj bez problémů. Je zde velká časová rezerva na případné úpravy odjehlování či delší čas potřebná pro čištění dílů



Obr. 43) Celkový pohled na buňku v programu Tecnomatix Process Simulate

9 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

U navržené výrobní linky je také důležité zjistit její nejen takt a ostatní parametry, ale pro koncového zákazníka bude důležitá její celková cena. Z ceny se pak dá zjistit návratnost a dle toho se může návrh zhotovit a namontovat nebo zrušit pro příliš vysokou cenu a nízkou návratnost.

9.1 Stávající situace

Jelikož je toto úplně nový návrh, nejsou zde specifikovány podmínky. Budeme předpokládat, že pro situaci před montáží buňky bude potřeba sedm lidí. Uvažujeme třísměnný provoz. Dva pracovníci budou na směně a sedmý člověk bude sloužit na střídání v případě nemoci, dovolené atd. Náklady na jednoho zaměstnance za rok stojí firmu 500 000 Kč. Pokud to vynásobíme počtem zaměstnanců, dostaneme částku **3 500 000 Kč**. Tato suma jsou náklady pro firmu za rok na zaměstnance zajišťující obsluhu CNC stroje, manipulace a odjehlení součástí.

9.2 Cena nového řešení

Dle předchozích kapitol jsou naceněné všechny komponenty v tabulce 9. Většinou se jedná o katalogové ceny (s marží), je tedy možné, že při realizaci mohou být ceny jednotlivých produktů trochu odlišné.

Tab 9) Ceny jednotlivých položek

Položka	Výrobce	Počet ks	Cena/ks [Kč]	Cena celkem [Kč]
Robot KR 120 R3100	KUKA	1	2 200 000	2 200 000
Efektory:				
SWA-076 (master + adaptery)	SCHUNK	1	145 200	145 200
PZN-plus 160-1	SCHUNK	4	51 425	205 700
Komponenty na dvojité gr.	Dodavatel	1	20 000	20 000
Komponenty na odjehlovací gr.	Dodavatel	1	4 500	4 500
Komponenty na gr. z krabice	Dodavatel	1	6 000	6 000
Komponenty na gr. na proklady	Dodavatel	1	6 000	6 000
Pneumatické prvky na gripperu	Festo	1	10 000	10 000
Elektrické prvky na gripperu	SCHUNK	1	15 000	15 000
Jednotlivé stanoviště:				
Vstupní paleta:				
Binpicking zaměřování- celek	Blumenbecker	1	825 000	825 000
Doraz palety	Dodavatel	1	5 000	5 000
Překládací místo polotvarů:	Dodavatel	1	4 500	4 500
Překládací místo obrobků:	Dodavatel	1	6 000	6 000
Odkládací místo gripperu:	Dodavatel	2	11 000	22 000
Odjehlovací stanoviště:				
Vřeteno	Mannesman-Demag	4	151 250	605 000
Rám	Dodavatel	1	30 000	30 000

Položka	Výrobce	Počet ks	Cena/ks [Kč]	Cena celkem [Kč]
Odjehlovací stanoviště:				
Násypka	Dodavatel	1	9 000	9 000
Kryt	Dodavatel	1	8 800	8 800
Doraz palety	Dodavatel	1	3 000	3 000
Pneumatické prvky	Festo	1	40 000	40 000
Oplach obrobku:	Dodavatel	1	60 000	60 000
Výstupní palety:	Dodavatel	2	5 000	10 000
Bezpečnostní prvky:				
Oplocení	Axelent	1	71 500	71 500
Dveře v oplocení (posuvné + otočné)	Axelent	1	49 500	49 500
Rychlovrata vnější	Albany	1	99 000	99 000
Rychlovrata vnitřní	Albany	1	104 500	104 500
Bezpečnostní relé s tlačítkovými stanicemi	ABB Jokab	1	44 000	44 000
Elektrický rozvaděč (s plnou výbavou a PLC)	Různé	1	500 000	500 000
Σ				5 109 200

V tabulce Tab 10) zobrazeny počty hodin a hodinovou sazbu jednotlivých prací pro úspěšné navržení a zprovoznění buňky.

Tab 10) Cena za práci

Práce	Počet hodin	Hodinová sazba [Kč]	Cena celkem [Kč]
Konstrukce	400	1 100	440 000
Elektro projekce	100	1 400	140 000
Vytvoření simulačního programu	60	1 500	90 000
Programátor PLC	200	1 500	300 000
Strojní montáž	240	700	168 000
Elektrická montáž	240	800	192 000
Programátor robotu	180	1 200	216 000
Σ			1 546 000

Po sečtení celkových nákladů z předchozích tabulek se dostáváme na cenu **6 655 200 Kč**. Po přičtení 15% přírážky pro zisk firmy dostaneme finální cenu linky **7 653 480 Kč**

9.3 Výpočet návratnosti

Nyní známe cenu, kolik stojí firmu výroba. Pokud jsou využiti pracovníci, vychází nám cena 3 500 000 Kč ročně. Cena navržené buňky je 7 653 480 Kč. Z těchto dvou částek můžeme dopočítat návratnost:

$$N_B = \frac{C_B}{C_P} = \frac{7\,653\,480}{3\,500\,000} \approx 2,2 \text{ roku} \quad (7)$$

Kde: N_B —návratnost [roky]
 C_B —cena navržené buňky [Kč]
 C_P —stávající náklady [Kč/rok]

Po provedení ekonomického zhodnocení vyšlo, že se buňka vyplatí za dva roky a tři měsíce. Většinou je uvedeno, aby se investice zaplatila do třech let. Což je bez problému splněno.

10 ZÁVĚR

Práce se zabývá návrhem robotického pracoviště na obsluhu CNC stroje, kdy robot k tomu ještě odjehljuje zadané hrany na obrobcích za pomoci pneumatických vřeten.

V první části jsou popsány druhy koncových efektorů. Hlavní část tvoří technologické efektory. Převážně se jedná o různé svařovací kleště a odjehlovací vřetena. Další rozsáhlou část tvoří uchopovací efektory. Ty jsou závislé na principu uchopení. Mechanické uchopovače jsou velice rozšířené spolu pneumatickými uchopovači. Poslední část tvoří kombinované efektory

Další část tvoří zadání pro návrh robotické buňky. Ze zadání je po tom vytvořen návrh (layout). Byly vytvořeny tři layouty, kdy pomocí hodnotících parametrů zvítězila varianta 1 se 105 body. Je tvořena jedním robotem, který je uprostřed buňky tak, aby byl schopný obsloužit všechna stanoviště. Prostor pro vstupní a výstupní palety je spojený.

Pro vykonání jednotlivých operací byly navrženy čtyři koncové efekторы. První efektor slouží pro manipulaci s deskami. K uchopení dochází pomocí přísavky, kdy dojde k vytvoření podtlaku pomocí ejektoru. Druhý efektor slouží k uchopení a přenesení polotovarů. Je navržen tak, aby byl schopen vybírat součásti z bedny (tzv. binpicking). Uchopení zajišťuje tříčelist'ové centrické chapadlo PZN-Plus 160-1 od výrobce Schunk. Výpočtem bylo ověřeno, že je potřeba vyvinout uchopovací sílu o velikosti 3962 N. Navržené chapadlo je schopno tuto sílu vytvořit. Další efektor je určený pro výměnu součásti v CNC stroji. Má přišroubováno na sobě dvě centrické chapadla (stejně jak u předchozího). Chapadla spolu svírají uhel 120° pro lepší manipulaci uvnitř stroje. Poslední efektor slouží na uchopení obrobku, na kterém dojde k odjehlení hran. K výměně efektoru slouží namontované adaptéry na každém efektoru a na rameni robotu.

V navazující části diplomové práce jsou navrženy jednotlivé části buňky. Jedná se o vstupní a výstupní místa. Jsou tvořeny paletami, které zajedou do předem připevněných dorazů. Nad vstupní paletou je doplněn binpicking systém pro lokalizaci jednotlivých polotovarů. Dále jsou v robotické buňce odkládací místa jak pro polotovary, tak i pro uložení obrobku, které zároveň slouží k jeho přechopení. V buňce je navrženo odjehlovací stanoviště. Tvoří jej rám, paleta, vřetena násypka a krytování. Vřetena jsou použita od výrobce Mannesman-Demag namontované nástroje vyrábí společnost Pferd. Protože jsou v buňce používány čtyři efekторы je navržen stojan pro odložení nepoužívaných efektorů. Dle zadání je zvolen robot s vyšším dosahem od výrobce KUKA s typovým označením KR 120 R3100-2. Robot má nosnost 120 kg, kdy bez problému dokáže pohybovat i s největším efektozem v buňce. Pro kontrolu byl, ale proveden výpočet v programu KUKA Compose, který potvrdil, že robot dokáže manipulaci i s největším efektozem.

V práci je provedena analýza, posouzení a snížení rizik. Dle výsledků bylo navrženo oplocení o kolo buňky X-Guard od firmy AXELEN s výškou 2300 mm. Výplň je plná průhledná plastová z důvodu možných odletujících třísek. Mezi sloupkem a výplně je namontována lišta. Do buňky vedou tři vstupy. První slouží jako servisní a je v rohu buňky tvořen křídlovými dveřmi vytvořené z oplocení. Další je určen na vývoz třísek z palety zde jsou použity posuvné dveře. Posledním vstupem je tvořen skrz vstupní a výstupní palety. Zde jsou dvojce rychlovrata od výrobce ASSA ABLOY s typovým označením Rapid Protect 300. Pro ovládání buňky slouží tlačítkový systém Smile 41 od výrobce Abb Jokab umístěný u každého vstupu.

Jedním se zadáním práce je i vytvoření simulace a ověření taktu robotu v programu Tecnomatix Process Simulate. Z předchozích navržených prvků buňky byly vymodelovány a následně vloženy do simulačního softwaru. U rozmístěných prvků byl ověřen dosah robotu. Následovalo vytvoření manipulační tak i odjehlovací trajektorie s ohledem na eliminaci kolizí. Po té byla simulace spuštěna a došlo ke zjištění taktu 8,45 minut. Tento výsledek je bez použití RCS modulu, který simuluje reálné chování robotu. Při použití modulu byl zjištěn reálný takt lina 7 minut. Tyto časy jsou pro situaci, kdy robot vykládá celou jednu vrstvu najednou. Pokud by robot tuto operaci provedl v minulém taktu, sníží se čas na 5,25 minut (bez RCS modulu 5,64 minut). Takt CNC stroje je 10 minut a je tak ověřeno, že robot je schopen obsluhovat stroj i odjehlovat obrobky.

Poslední částí tvoří technicko-ekonomické zhodnocení. Jelikož je celý koncept úplně nový návrh, bylo k porovnání počítáno se sedmi lidmi, kdy celkové náklady budou 3 500 000 Kč za rok. Navržené komponenty jak kupované tak vyráběné byly naceněné. Dále se připočetla práce jednotlivých profesí podílející se na vzniku buňky a při připočtení zisku firmy se vyšla výsledná cena buňky na 7 653 480 Kč. Návratnost vychází za 2,2 roku.

Z doporučení pro praxi by bylo vhodné zmínit, že cílem nebyla analýza, posouzení a snížení rizik a pro to nejsou zpracována do podrobnosti, ale pouze pro vytvoření bezpečnosti obsluhy. Dále jsou všechny komponenty vytvořeny v CAD programu. Stačí z modelů vytvořit výkresy dílů a sestav. Pouze u odjehlovacího stanoviště je potřeba dodělat stojan. Pro výrobu a montáž je lepší jej rozdělit do více celků. Při vytváření simulace a trajektorie je lepší mít RCS modul již připojen. V našem případě byla celá simulace odzkoušena bez modulu a následně připojen. Nastávaly zde komplikace se zprovozněním. Tím pádem vzniklo i časové zpoždění.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] End Effectors for Robotic Tooling. *Destaco and dover company* [online]. b.r. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/products/end-effectors>
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty II: Konstrukce výstupních hlavic a periférií : <<Určeno pro posl. fak. stroj. Vys. učení techn. v Brně>>*. První. Brno: PC-DIR, 1993. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0533-3.
- [3] *Welding torch* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: http://www.robot-welding.com/welding_torch.htm
- [4] The Power and Importance of Sensing Technologies. In: *Onrobot* [online]. b.r. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://onrobot.com/da/node/1495>
- [5] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty II: Konstrukce výstupních hlavic a periférií : <<Určeno pro posl. fak. stroj. Vys. učení techn. v Brně>>*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1993. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0533-3.
- [6] YOG, . Mechanical Grippers. In: *Robotics bible: educates everyone* [online]. b.r. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://www.roboticsbible.com/mechanical-grippers.html>
- [7] 2 - čelustové paralelné chápádlá Séria GEPI400 [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.zimmer-group.de/sk/structure/%24mg5-15405791/rad+gepi400#construction>
- [8] MONKMAN, Gareth J. *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [9] *Chwytyk_pneumatyczny.jpg* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: http://wiki.fl9.eu/_detail/pwr/podstawy-air/chwytyk_pneumatyczny.jpg?id=pwr%3Apodstawy-air%3Airb-1400
- [10] Hexagonal Design C06 | Two- to Six-Finger Hollow Gripper. In: *GMG* [online]. b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://gmg-system.com/en/products/hexagonal/c06>
- [11] *Magnetic grippers* [online]. b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/industrial-magnetic-systems/magnetic-handling/robot-end-of-arm-tooling/magnetic-grippers>
- [12] Magnetic Robot End Effector: Top 5 Pros and Cons. In: *Robotiq* [online]. b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/65794/Magnetic-Robot-End-Effector-Top-5-Pros-and-Cons>
- [13] *PICKnPLACE MAGNET* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?time_continue=28&v=ax1IsSof-4I&feature=emb_logo
- [14] *Vakuové samopřísavné manipulátory* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/vakuove-samoprisavne-manipulatory>

- [15] *Vakuové ejektory VN* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VN_CZ.PDF
- [16] *Vakuové ejektory OVEM* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/OVEM_CZ.PDF
- [17] *Basic principles of vacuum technology, brief overview* [online]. b.r. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_Principles.pdf
- [18] Push-button box: Smile 41. *ABB* [online]. b.r. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172017L0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [19] SRDOŠOVÁ, Michaela. *Návrh robotické buňky pro manipulační operace* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116748>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Pochylý Aleš.
- [20] ROLINC, Lukáš. *Návrh svařovací robotické buňky* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116740>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Pochylý Aleš.

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam tabulek

TAB 1) ZÁKLADNÍ PARAMETRY POLOTOVARU.....	27
TAB 2) VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY PODLE VÁŽENÝCH KRITÉRIÍ.....	31
TAB 3) TYPY ROBOTŮ DLE DOSAHU	48
TAB 4) PŮVODY RELEVANTNÍHO NEBEZPEČÍ – ČÁST.....	52
TAB 5) ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ – ČÁST	52
TAB 6) ODHAD RIZIKA	53
TAB 7) SEZNAM VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ – ČÁST	53
TAB 8) FORMULÁŘ NA ODHAD RIZIKA – ČÁST	54
TAB 9) CENY JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK.....	61
TAB 10) CENA ZA PRÁCI	62

12.2 Seznam obrázků

OBR. 1) SVAŘOVACÍ HLAVICE [3].....	17
OBR. 2) ODJEHLOVACÍ HLAVICE [4]	18
OBR. 3) PASIVNÍ MECHANICKÉ EFEKTORY: A) S PRUŽNÝMI ČELISTMI, B) S ODPRUŽENÝMI Č. [2]	18
OBR. 4) DVOUČELIŠŤOVÉ ELEKTRICKÉ CHAPADLO ZIMMER GROUP GEP 1400 [7]	19
OBR. 5) GRIPPER S JEDNOU PEVNOU A DRUHOU POHYBLIVOU ČELISTÍ [8].....	19
OBR. 6) PŘEHLED BĚŽNĚ POUŽÍVANÝCH POHYBOVÝCH USTROJÍ PARALELNÍCH GRIPPERŮ [8]	20
OBR. 7) PÁKOVÉ CHAPADLO (UPRAVENO) [9]	20
OBR. 8) CHAPADLO CENTRICKÉ OD FY GMG [10]	21
OBR. 9) GRIPPER S PERMANENTNÍM MAGNETEM OVLÁDANÝ PNEUMATICKY, A) POLOHA MAGNETU PŘI UCHOPENÍ, B) POLOHA MAGNETU PŘI UVOLNĚNÍ SOUČÁSTI (UPRAVENO) [11]	21
OBR. 10) ROBOT S ELEKTROMAGNETICKÝM UCHOPOVAČEM [13]	22
OBR. 11) ZÁKLADNÍ PROVEDENÍ DEFORMAČNÍCH PŘÍSAVEK: A) PRYŽŽOVÁ DEFORMAČNÍ PŘÍSAVKA S UCHYCENÍM NA ČEP, B) PŘÍSAVKA S ODPRUŽENÝM PÍSTEM [2]	23
OBR. 12) VAKUOVÝ SAMOPŘÍSAVNÝ MANIPULÁTOR [14].....	23
OBR. 13) ZÁKLADNÍ TYP EJEKTORU OD VÝROBCE FESTO [15]	24
OBR. 14) VAKUOVÝ EJEKTOR OVEM SPOLEČNOSTI FESTO (UPRAVENO) [16].....	24

OBR. 15) SCHÉMA PRINCIPU GRIPPERU S LANY [8].....	25
OBR. 16) NÁKRES UCHOPENÍ OBJEKTU S PRUŽNÝMI PÁSY [8]	25
OBR. 17) PRINCIP UCHOPNÉ HLAVICE S PRYŽOVÝMI ELEMENTY [8]	26
OBR. 18) POLOTOVAR (ČÁSTEČNÝ ŘEZ)	27
OBR. 19) OBROBEK (ČÁSTEČNÝ ŘEZ)	28
OBR. 20) NÁVRH LAYOUTU – VERZE 1	29
OBR. 21) NÁVRH LAYOUTU – VERZE 2	30
OBR. 22) NÁVRH LAYOUTU – VERZE 3	30
OBR. 23) EFEKTOR PRO ODEBÍRÁNÍ Z BEDNY	34
OBR. 24) EFEKTOR PRO ODEBRÁNÍ PROKLADU	35
OBR. 25) EFEKTOR PRO VÝMĚNU SOUČÁSTI	37
OBR. 26) EFEKTOR NA ODJEHLENÍ	38
OBR. 27) UMÍSTĚNÍ EFEKTORU A SYSTÉMU RYCHLÉ VÝMĚNY NA ROBOTU	39
OBR. 28) VSTUP MATERIÁLU	41
OBR. 29) PŘEKLÁDACÍ STANOVIŠTĚ POLOTOVARŮ	42
OBR. 30) ODKLÁDACÍ STOJAN S EFEKTOREM	43
OBR. 31) PŘEKLÁDACÍ STANOVIŠTĚ OBROBKŮ	44
OBR. 32) POHLED NA UPEVNĚNÍ VŘETENE	45
OBR. 33) POHLED NA POSLEDNÍ VŘETENO	46
OBR. 34) ODJEHLOVACÍ STANOVIŠTĚ	47
OBR. 35) PALETA S DORAZEM PRO ODVOZ PROKLADŮ	47
OBR. 36) ZATÍŽENÍ JEDNOTLIVÝCH OS ROBOTU Z KUKA COMPOSE	49
OBR. 37) BLOKOVÝ DIAGRAM	51
OBR. 38) HORNÍ POHLED NA BUŇKU	56
OBR. 39) TLAČÍTKOVÁ SKŘÍŇKA SMILE 41 [18].....	56
OBR. 40) POSTUP NASTAVENÍ BASE	58
OBR. 41) POSTUP VYTVOŘENÍ TRAJEKTORIE	59
OBR. 42) POSTUP ÚPRAVY JEDNOTLIVÝCH BODŮ	60
OBR. 43) CELKOVÝ POHLED NA BUŇKU V PROGRAMU TECNOMATIX PROCESS SIMULATE	60

13 SEZNAM PŘÍLOH

3D model buňky ve formátu step

Videozáznam simulace pracovního taktu

Analýza, posouzení a snížení rizik:

- Přehled relevantních nebezpečí
- Analýza významných nebezpečí
- Přehled identifikovaných závažných nebezpečí
- Formuláře pro snížení rizik

Výkresy:

- LAYOUT PRACOVIŠTĚ (layout, č. DP-10-00)
- NA_DESKY (sestava, č. DP-03)
- DVOJITÝ_EFEKTOR (sestava, č. DP-04)
- ODJEHLOVACÍ_EFEKTOR (sestava, č. DP-05)
- ZPALETY_EFEKTOR (sestava, č. DP-06)